



Titulació:

GRAU EN TECNOLOGIES INDUSTRIALS (GRET)

.....

Alumne:

ÀLEX SOCÍAS VILLANUEVA

.....

Enunciat del TFG:

**PROJECTE DE DISSENY D'APARCAMENT AMB ESTRUCTURA
METÀL·LICA AMB PERFILS CLASSE 4 PER VEHICLES ELÈCTRICS I
APROFITAMENT DE L'ENERGIA SOLAR**

.....

Director del TFG:

CARLES ROMEA ROSAS

.....

Convocatòria de lliurament del TFG:

JUNY 2019

.....

MEMÒRIA



INDEX DE CONTINGUT

1. Objecte de l'estudi	1
2. Justificació del projecte	1
3. Abast de l'enginyeria bàsica	1
4. Especificacions bàsiques	3
5. Estat de l'art	3
6. Localització del pàrquing	5
7. Recerca d'informació respecte la normativa vigent i comparativa entre vehicles elèctrics i convencionals	7
7.1. Risc d'incendis:	7
7.2. Codi tècnic:	8
7.3 Comparativa entre cotxe elèctric i convencional:	9
8. Tipus de perfils d'acer prefabricat	11
9. Disseny	13
9.1 Places d'aparcament	13
9.2 Dimensions del mòdul bàsic	15
9.3 Mòdul bàsic desenvolupat	21
9.3.1 Zona d'accés per a vianants	21
9.3.2 Disseny de les rampes	22
9.3.3 Disseny de l'entrada per als vehicles	27
9.3.4 Disseny de les dues plantes	29
9.3.5 Distribució dels pilars	33
9.4 Carregues o accions aplicades a l'estructura	37
9.4.1 Càrregues degudes a accions permanents	37



9.4.2 Càrregues degudes a accions variables.....	39
9.4.3 Càrregues degudes a accions accidentals	43
9.4.4 Combinació d'accions o càrregues.....	46
10. Càlculs estructurals	49
10.1 Estats límits últims (ELU)	49
10.1.1 Estabilitat.....	50
10.1.2 Resistència.....	50
10.1.3 Combinació d'accions.....	51
10.1.3.1 Accions corresponents a una situació persistent o transitòria:	52
10.1.3.2 Accions corresponents a una situació extraordinària:	52
10.1.3.3 Resultats de les accions.....	53
10.2 Estats límits de servei (ELS)	54
10.2.1 Accions de curta duració que poden resultar irreversibles	54
10.2.2 Accions de curta duració que poden resultar reversibles	55
10.2.3 Accions de llarga duració	55
10.2.4 Resultats de les accions.....	55
10.2.5 Deformacions verticals o fletxes.....	56
10.2.6 Deformacions horitzontals.....	57
10.2.7 Vibracions.....	59
10.3 Unions entre elements estructurals	59
10.4 Càlcul de les bigues	65
10.5 Forjat mixt.....	70
10.6 Càlculs dels pilars	77
10.6.1 Predimensionament.....	77



10.6.2 Comprovació del perfil a resistència.....	78
10.6.3 Comprovació a vinclament	78
11. Disseny de la coberta	79
12. Estudi energètic amb plaques solars fotovoltaïques.....	80
12.1 Energia d'un vehicle elèctric.....	80
12.2 Potència de la instal·lació fotovoltaïca.....	82
12.3 Carregadors elèctrics	84
12.4 Producció d'energia renovable i implicacions ambientals.....	87
13. Modelització del pàrquing amb Revit.....	88
14. Pressupost i costos	88
14.1 Honoraris professionals.....	89
14.2 Costos estructurals.....	90
15. Aspectes mediambiental	91
16. Conclusions i línies futures d'atac	92
17. Referències:	93
ANNEXOS.....	96
Accions degudes al vent:	97
Accions corresponents a una situació persistent o transitòria (ELU):.....	101
Accions de curta duració que poden resultar irreversibles (ELS) pòrtics tipus 1:	108
Accions de curta duració que poden resultar reversibles (ELS) pòrtics tipus 1:	110
Accions de llarga duració (ELS) pòrtics tipus 1:	112
Accions més desfavorables (ELS) pòrtic tipus 2:	113
Accions més desfavorables (ELS) pòrtic tipus 3:	115



Deformacions verticals o fletxes:.....	117
Càlcul de bigues resolució cas hiperestàtic:.....	120
Càlcul de bigues cas hiperestàtic nova distribució:	128
Càlcul de bigues resolució cas isostàtic:	131
Forjat mixt:.....	133
Forjat mixt càlcul d'elements d'unió:.....	140
Predimensionament dels pilars:	144
Comprovació a resistència dels pilars:	153
Comprovació a vinclament dels pilars:	161



ÍNDEX DE TAULES

Taula 1: Comparativa vehicle elèctric i convencional	10
Taula 2: Quadre de dimensions mínimes places d'aparcament. Extret de: [7].	13
Taula 3: Parc de vehicles a Catalunya	15
Taula 4: Comparació d'alternatives del disseny del mòdul bàsic	20
<i>Taula 5: Turismes i motocicletes a Catalunya. Extret de: [10].....</i>	<i>31</i>
<i>Taula 6: Places d'aparcament disponibles</i>	<i>31</i>
Taula 7: Comparació d'alternatives del disseny dels pilars	34
<i>Taula 8: Distribució de càrregues en els forjats en funció dels pilars</i>	<i>36</i>
<i>Taula 9: Càrregues en els forjats</i>	<i>38</i>
Taula 10: Valors característics de les sobrecàrregues en ús. Extret de: [11]....	39
<i>Taula 11: Categoria d'ús dels forjats i càrregues equivalents</i>	<i>40</i>
Taula 12: Accions sobre baranes i altre elements divisoris. Extret de: [11].....	40
<i>Taula 13: Càrregues equivalents degudes al vent</i>	<i>42</i>
<i>Taula 14: Càrrega de neu equivalent</i>	<i>43</i>
<i>Taula 15: Combinació d'accions als pòrtics tipus 1</i>	<i>46</i>
<i>Taula 16: Combinació d'accions als pòrtics tipus 2</i>	<i>47</i>
<i>Taula 17: Combinació d'accions als pòrtics tipus 3</i>	<i>48</i>
Taula 18: Coeficients parcials de seguretat per les accions. Extret de: [13]	51
Taula 19: Coeficients de simultaneïtat. Extret de: [13]	51
<i>Taula 20: Combinació de càrregues ELU més desfavorable</i>	<i>53</i>
<i>Taula 21: Combinació de càrregues en ELS més desfavorable.....</i>	<i>56</i>
<i>Taula 22: Perfils mínims en bigues amb sistema hiperestàtic.....</i>	<i>68</i>
<i>Taula 23: Perfils mínims en bigues amb sistema isostàtic</i>	<i>69</i>



<i>Taula 24: Moments resistents acer S355</i>	73
<i>Taula 25: Moments resistents acer S275</i>	73
<i>Taula 26: Classes dels perfils IPE. Extret de: [19]</i>	74
<i>Taula 27: Classes dels perfils HEB. Extret de: [19]</i>	78
<i>Taula 28: Capes coberta inversa</i>	79
<i>Taula 29: Plaques solars comercials. Extret de: [22]</i>	83
<i>Taula 30: Tipus de vehicles a Catalunya</i>	86
<i>Taula 31: Places amb carregador al pàrquing</i>	87
<i>Taula 32: Honoraris del projectista</i>	89
<i>Taula 33: Costos estructurals</i>	90
<i>Taula 34: Taula D.11 Marquesina a dues aigües. Extret de: [11]</i>	99
<i>Taula 35: Càrregues a considerar en ELU pòrtic tipus 1</i>	101
<i>Taula 36: Combinació d'accions als pòrtics tipus 2</i>	104
<i>Taula 37: Combinació d'accions als pòrtics tipus 3</i>	106
<i>Taula 38: Càrregues a considerar en ELS</i>	108
<i>Taula 39: Combinació d'accions als pòrtics tipus 2</i>	113
<i>Taula 40: Combinació d'accions als pòrtics tipus 3</i>	115
<i>Taula 41: Perfils IPE. Extret de: [28]</i>	127
<i>Taula 42: Característiques forjat mixt</i>	135
<i>Taula 43: Noves característiques forjat mixt</i>	136
<i>Taula 44: Forces tallants equivalents en cada zona</i>	141
<i>Taula 45: Característiques perfils HEB</i>	146
<i>Taula 46: Perfil escollit en el predimensionament dels pilars</i>	151



INDEX DE IL·LUSTRACIONS

Il·lustració 1: Mapa físic de Catalunya. Extret de: [1]	5
Il·lustració 2: Localització del terreny a Sabadell. Extret de: [2]	6
Il·lustració 3: Ampliació de la zona del terreny. Extret de: [2]	7
Il·lustració 4: Classes d'acers. Extret de: [5].....	11
Il·lustració 5: Plaça d'aparcament per a minusvàlids individual. Extret de: [6] .	14
Il·lustració 6: Plaça d'aparcament per a minusvàlids individual. Extret de: [6] .	14
Il·lustració 7: Model A (unitats en metres)	16
Il·lustració 8: Model B (unitats en metres)	18
Il·lustració 9: Model C (unitats en metres)	19
Il·lustració 10: Zones d'accés per a vianants (unitats en metres).....	21
Il·lustració 11: Normativa recorreguts d'evacuació. Extret de: [3].....	22
Il·lustració 12: Rampa model inicial (unitats en metres)	24
Il·lustració 13: Rampa model definitiu (unitats en metres).....	25
Il·lustració 14: Mòdul del pàrquing amb les rampes (unitats en metres)	26
Il·lustració 15: Disseny planta baixa amb accessos per a vehicles (unitats en metres)	28
Il·lustració 16: Ampliació d'accessos per a vehicles (unitats en metres)	29
Il·lustració 17: Mesures plànol del pàrquing (unitats en metres)	30
Il·lustració 18: Plànol planta baixa	32
Il·lustració 19: Plànol primera planta	32
Il·lustració 20: Distribució de pilars	35
Il·lustració 21: Força equivalent perpendicular a la línia d'impacte (força en kN)	44
Il·lustració 22: Forces d'impacte que generen tracció als pilars (força en kN)..	45



Il·lustració 23: Forces d'impacte que generen compressió als pilars (força en kN)	45
Il·lustració 24: Caiguda total i local en desplaçaments horitzontals. Extret de: [13]	57
Il·lustració 25: Deformacions horitzontals en ELS	58
Il·lustració 26: Nus i model de nus en unions metàl·liques. Extret de: [12]	60
Il·lustració 27: Model de les unions. Extret de: [12]	61
Il·lustració 28: Classificació comportament dels nusos. Extret de: [14]	61
Il·lustració 29: Esforços en biga a flexió simple. Extret de:[15]	62
Il·lustració 30: Model d'esforços equivalent. Extret de:[15]	63
Il·lustració 31: Unió rígida entre pilar i biga. Extret de:[15]	63
Il·lustració 32: Unió rígida entre pilar extrem i biga. Extret de: [16]	64
Il·lustració 33: Unió rígida entre pilar i biga. Extret de: [16]	64
Il·lustració 34: Valors dels coeficients de seguretat. Extret de: [12]	65
Il·lustració 35: Estat de càrrega de les bigues dels forjats	66
Il·lustració 36: Biga hiperestàtica biencastada. Extret de: [17]	66
Il·lustració 37: Nova distribució de pilars	67
Il·lustració 38: Nova geometria del pòrtic	68
Il·lustració 39: Tipus de bigues mixtes d'acer i formigó. Extret de: [18]	70
Il·lustració 40: Biga amb llosa de formigó mixt homogeneïtzat a acer (Unitats en mil·límetres)	71
Il·lustració 41: Eix neutre biga homogeneïtzada (unitats en mil·límetres)	72
Il·lustració 42: Distribució perfils en L zona 1 (unitats en centímetres)	75
Il·lustració 43: Distribució perfils en L zona 2 (unitats en centímetres)	76
Il·lustració 44: Distribució perfils en L zona 3 (unitats en centímetres)	76



Il·lustració 45: Capes coberta inversa	79
Il·lustració 46: Consum.....	81
Il·lustració 47: Autonomia	81
Il·lustració 48: Capacitat d'energia emmagatzemada en les bateries	82
Il·lustració 49: Dimensions panell solar. Extret de: [21]	83
Il·lustració 50: Plaques solars instal·lades	84
Il·lustració 51: D.11 Marquesina a dues aigües. Extret de: [11]	98
Il·lustració 52: Prontuari biga simple encastada. Extret de: [27]	117
<i>Il·lustració 53: Prontuari biga simple recolzada. Extret de: [27]</i>	<i>118</i>
Il·lustració 54: Sistema equivalent isostàtic.....	120
Il·lustració 55: Diagrama de flectors sistema isostàtic. Extret de: [17]	120
Il·lustració 56: Incògnites d'encastament perfecte. Extret de:[17]	121
Il·lustració 57: Diagrama d'esforços resultant. Extret de: [17]	122
Il·lustració 58: Prontuari biga hiperestàtica biencastada. Extret de: [17]	124
<i>Il·lustració 59: Perfil IPE. Extret de: [28]</i>	<i>126</i>
Il·lustració 60: Diagrama de moment flector sistema isostàtic.....	131
Il·lustració 61: Amplada eficaç biga. Extret de: [18]	133
Il·lustració 62: Biga amb llosa de formigó mixt homogeneïtzat a acer (Unitats en mil·límetres).....	138
Il·lustració 63: Eix neutre biga homogeneïtzada (unitats en mil·límetres)	139
Il·lustració 64: Diagrama de esforços tallants.....	141
Il·lustració 65: Diagrama de esforços tallants en zones	141
Il·lustració 66: Perfil en L. Extret de: [29]	142
Il·lustració 67: Característiques de perfil d'acer laminat en forma de L. Extret de: [29]	143



II·lustració 68: Coeficient beta depenent del tipus de suports. Extret de: [12]	144
II·lustració 69: Perfil HEB.....	145
<i>II·lustració 70: Estat de càrregues per a tres pilars</i>	<i>147</i>
II·lustració 71: Diagrama de moments flectors per a tres pilars.....	147
II·lustració 72: Estat de càrregues (ELU).....	148
II·lustració 73: Diagrama de moments flectors amb pilars HEB 200.....	149
II·lustració 74: Diagrama de moments flectors HEB 600	149
II·lustració 75: Deformada amb pilars HEB 300.....	150
<i>II·lustració 76: Diagrama de moments flectors amb pilars HEB 300.....</i>	<i>151</i>
II·lustració 77: Diagrama de esforços tallants amb pilars HEB 300 (unitats en kN)	154
II·lustració 78: Diagrama d'esforços axials amb pilars HEB 300	155
II·lustració 79: Diagrama de esforços tallants amb pilars HEB 300 (unitats en kN)	157
II·lustració 80: Diagrama d'esforços axials amb pilars HEB 300	159



INDEX D'EQUACIONS

Equació - 1: Percentatge d'augment de pes.....	10
Equació - 2: Pendent de la rampa	24
Equació - 3: Distància recorreguda	25
Equació - 4: Alçada necessària als trams extrems.....	25
Equació - 5: Pendent mínima necessària als trams extrems.....	26
<i>Equació - 6: Càrrega deguda a l'acció del vent</i>	<i>41</i>
Equació - 7: Càrrega de pressió per unitat de superfície	41
Equació - 8: Càrrega de succió per unitat de superfície	41
Equació - 9: Condició d'estabilitat.....	50
Equació - 10: Condició de resistència	50
Equació - 11: Accions corresponents a una situació persistent o transitòria (ELU). Extret de: [10].....	52
<i>Equació - 12: Accions corresponent a situació extraordinària (ELU). Extret de: [10]</i>	<i>52</i>
Equació - 13: Accions de curta duració (ELS). Extret de: [10].....	54
Equació - 14: Accions de curta duració que poden resultar reversibles (ELS). Extret de [10]	55
Equació - 15: Accions de llarga duració (ELS). Extret de: [10]	55
Equació - 16: Comprovació a fletxa.....	56
Equació - 17: Fletxa de biga hiperestàtica	56
Equació - 18: Fletxa de biga isostàtica	56
Equació - 19: Condició final d'inèrcia de les bigues	57
Equació - 20: Condició límit de deformacions horitzontals	58
Equació - 21: Comprovació límit de deformacions horitzontals pilar esquerra...	58



Equació - 22: Comprovació límit de deformacions horitzontals pilar dret.....	58
Equació - 23: Comprovació de la inèrcia a fletxa	72
Equació - 24: Moment resistent de la biga mixta.....	73
Equació - 25: Teorema de Colignon-Jourawski.....	75
Equació - 26: Potència a màxim rendiment de la instal·lació fotovoltaica	84
Equació - 27: Potència total dels carregadors elèctrics.....	85
<i>Equació - 28: Càrrega deguda a l'acció del vent</i>	<i>97</i>
<i>Equació - 29: Pressió dinàmica del vent</i>	<i>97</i>
<i>Equació - 30: Condició d'esveltesa.....</i>	<i>97</i>
Equació - 31: Càrrega de pressió per unitat de superfície	99
Equació - 32: Càrrega de succió per unitat de superfície	100
Equació - 33: Fletxa de biga hiperestàtica	118
Equació - 34: Fletxa de biga isostàtica.....	118
Equació - 35: Inèrcia necessària cas hiperestàtic	118
Equació - 36: Inèrcia necessària cas isostàtic.....	119
Equació - 37: Condició final d'inèrcia de les bigues	119
Equació - 38: Sext.....	121
Equació - 39: Moment estàtic.....	121
Equació - 40: Primer teorema de Mohr. Extret de: [13]	122
Equació - 41: Segon teorema de Mohr. Extret de: [13]	122
Equació - 42: Moments d'encastament perfecte. Extret de: [13]	123
<i>Equació - 43: Moment punt A d'encastament perfecte.....</i>	<i>123</i>
Equació - 44: Moment punt B d'encastament perfecte	123
Equació - 45: Forces transversals d'encastament perfecte. Extret de:[13].....	123



<i>Equació - 46: Força transversal d'encastament perfecte al punt A</i>	123
Equació - 47: Força transversal d'encastament perfecte al punt B	123
Equació - 48: Secció sotmesa a flexió.....	124
Equació - 49: Resistència a flexió de la secció de la biga	125
<i>Equació - 50: Moment flector màxim</i>	125
Equació - 51: Condició a complir de la secció a flexió.....	125
Equació - 52: Mòdul resistent acer 235	125
Equació - 53: Mòdul resistent acer 275	126
Equació - 54: Mòdul resistent acer 355	126
Equació - 55: Mòdul resistent acer 450	126
Equació - 56: Resistència plàstica de la secció. Extret de: [15].....	128
<i>Equació - 57: Tallant màxim.....</i>	128
<i>Equació - 58: Àrea a tallant. Extret de: [15].....</i>	129
Equació - 59: Condició necessària per menysprear el tallant.....	129
Equació - 60: Moment flector màxim	129
Equació - 61: Igualtat de resistència a flexió a complir cas hiperestàtic. Extret de: [15]	129
Equació - 62: Moment resistent necessari per a acers S235 cas hiperestàtic	130
Equació - 63: Moment resistent necessari per a acers S275 cas hiperestàtic	130
Equació - 64: Moment resistent necessari per a acers S355 cas hiperestàtic	130
Equació - 65: Moment resistent necessari per a acers S450 cas hiperestàtic	130
Equació - 66: Moment flector màxim	131
Equació - 67: Igualtat de resistència a flexió a complir cas isostàtic. Extret de: [15]	131
Equació - 68: Moment resistent necessari per a acers S235 cas isostàtic.....	132



Equació - 69: Moment resistent necessari per a acers S275 cas isostàtic	132
Equació - 70: Moment resistent necessari per a acers S355 cas isostàtic	132
Equació - 71: Moment resistent necessari per a acers S450 cas isostàtic	132
Equació - 72: Amplada eficaç mínima de la llosa del forjat mixt	133
Equació - 73: : Factor d'homogeneïtzació entre acer i formigó	134
Equació - 74: Igualtat de rigidesa	134
Equació - 75: Inèrcia de la llosa de formigó	134
Equació - 76: Base equivalent de la llosa en acer	135
Equació - 77: Centre de gravetat del forjat mixt	135
Equació - 78: Inèrcia de la llosa de formigó considerant 5 metres d'amplada eficaç	136
<i>Equació - 79: Nova amplada de la llosa homogeneïtzada en acer</i>	<i>136</i>
Equació - 80: Centre de gravetat de la biga mixta considerant 5 metres d'amplada eficaç	136
Equació - 81: Centre de gravetat de la biga mixta considerant 1 metre d'amplada eficaç	137
Equació - 82: Amplada eficaç per a tenir el centre de gravetat en la interfase biga i llosa	137
Equació - 83: Centre de gravetat final amb llosa de 2,5 metres de formigó ...	138
<i>Equació - 84: Inèrcia de la llosa homogeneïtzada</i>	<i>139</i>
Equació - 85: Inèrcia total de la biga mixta	139
Equació - 86: Teorema de Colignon-Jourawski	140
<i>Equació - 87: Esforç tallant màxim</i>	<i>140</i>
Equació - 88: Tensió tallant màxima	140
Equació - 89: Força mínima equivalent que haurà de suportar cada peça d'unió	142



Equació - 90: Àrea mínima necessària en l'element d'unió	142
Equació - 91: Comprovació d'àrea mínima de l'element d'unió triat	143
Equació - 92: Longitud equivalent de vinclament pla del pòrtic	144
Equació - 93: Longitud equivalent de vinclament pla longitudinal	144
Equació - 94: Restricció de radi de gir en l'eix x	145
Equació - 95: Restricció de radi de gir en l'eix y	145
Equació - 96: Comprovació de la resistència a flexió del pilar	152
Equació - 97: Moment resistent mínim del pilar predimensionat	152
Equació - 98: Resistència a esforços tallants	153
Equació - 99: Secció sotmesa a esforç tallant	153
Equació - 100: Referència a esforços tallants del pilar HEB 300 d'acer S355	153
Equació - 101: Comprovació d'interacció entre moment flector i tallant	154
Equació - 102: Secció de l'anima del pilar HEB 300	154
Equació - 103: Resistència a tracció de l'anima del pilar	155
Equació - 104: Comprovació d'axial suficientment significatiu	155
Equació - 105: Comprovació de la resistència del pilar a flexió composta	156
<i>Equació - 106: Comprovació simplificada de la resistència del pilar a flexió composta</i>	<i>156</i>
Equació - 107: Resistència del pilar a esforços axials	156
Equació - 108: Resistència del pilar a moments flexors	156
Equació - 109: Validació final de la resistència del pilar HEB 300 d'acer S355	156
Equació - 110: Resistència a esforços tallants	156
Equació - 111: Secció sotmesa a esforç tallant	157
Equació - 112: Referència a esforços tallants del pilar HEB 300 d'acer S355	157



Equació - 113: Comprovació d'interacció entre moment flector i tallant	157
Equació - 114: Secció de l'anima del pilar HEB 300.....	158
Equació - 115: Resistència a tracció de l'anima del pilar.....	158
Equació - 116: Comprovació d'axial suficientment significatiu	159
Equació - 117: Comprovació de la resistència del pilar a flexió composta	159
<i>Equació - 118: Comprovació simplificada de la resistència del pilar a flexió composta.....</i>	<i>159</i>
Equació - 119: Resistència del pilar a esforços axials.....	160
Equació - 120: Resistència del pilar a moments flectors	160
Equació - 121: Validació final de la resistència del pilar HEB 300 d'acer S355	160
<i>Equació - 122: Comprovació a vinclament.....</i>	<i>161</i>
Equació - 123: Comprovació a vinclament per torsió	161
<i>Equació - 124: Esveltesa.....</i>	<i>162</i>
Equació - 125: Comprovació de resistència a compressió del pila.....	162



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA
BARCELONATECH

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**



1. Objecte de l'estudi

Disseny del mòdul d'un aparcament per a vehicles elèctrics amb estructura metàl·lica d'acer classe 4 i estudi de la viabilitat de l'aprofitament de l'energia solar amb plaques fotovoltaïques a Catalunya.

2. Justificació del projecte

Al haver un considerable augment de la utilització i fabricació de cotxes elèctrics hem vist una necessitat d'acompanyar aquest procés mundial amb la innovació dels llocs d'estacionament dels cotxes. Amb aquest tipus de pàrquings, els cotxes elèctrics podran recarregar les seves bateries sense cap problema gràcies a l'ús de plaques solars fotovoltaïques a la coberta i/o façanes de l'estructura.

Es pretén fer una promoció de les energies renovables ja que de moment són l'alternativa de futur a les fonts de combustibles fòssils tenint un menor impacte ambiental y una major acceptació social ja que cada cop estan més conscienciades amb els problemes mediambientals i la sostenibilitat del planeta Terra.

L'opció de fer servir una estructura metàl·lica facilitaria la seva implementació en la seva fase de construcció i posada a punt, amb una reducció de les tones de material utilitzat ja que en el cas de fer servir formigó, el pes i volum d'aquests serien majors.

3. Abast de l'enginyeria bàsica

El projecte englobarà un estudi del càlcul estructural de l'estructura en detall, en funció de la grandària d'aquest, on podrem extrapolar els resultats per a una estructura bàsica a una més complexa i de majors dimensions degut a que les lleis estructurals aplicades seran les mateixes.

També definirem un estudi sobre la normativa actual a Catalunya sobre les pàrquings per a cotxes elèctrics i les avantatges i desavantatges en front als cotxes convencional extraient unes conclusions que afectaran a com s'acabi

enfocant el problema de l'acer en front del formigó pel que fa la prevenció i propagació d'incendis seguint la normativa tècnica catalana.

Calcularem l'autonomia mitjana aproximada dels cotxes elèctrics actuals per poder veure si el pàrquing en funció de certes característiques i climatologia es podria abastir d'energia sense estar connectats a la xarxa elèctrica amb una autoproducció localitzada. Això ens portarà a buscar informació sobre les característiques de diferents tipus de cotxes, models i marques per veure com han anat evolucionant l'autonomia i aconseguir preveure com serà aquest augment en un futur proper degut a que la tecnologia es desenvolupa a un ritme impressionant.

Estudi de la viabilitat d'utilitzar l'acer prefabricat de perfil tipus 4 i veure les avantatges en front a un altre perfil a nivell estructural i econòmic per veure clarament que es l'alternativa més viable i sostenible, també si escau, es farà una comparativa amb el formigó degut a la seva gran utilització actual en l'àmbit construcció industrial i estructures.

Estudiarem la viabilitat d'implantació del projecte a Catalunya, on haurem de restringir a una zona degut a que les accions ambientals variaran en funció del territori on es localitzi.

Ara realitzarem un anàlisis més profund de les activitats que es realitzaran:

- Estudi de la normativa tècnica contra incendis en pàrquings a Catalunya per a cotxes elèctrics.
- Comparativa amb la normativa per a vehicles convencionals.
- Estudi del material utilitzat (acer) i les classes de perfils trobant el més òptim per a la proposta del projecte.
- Comparativa amb altres materials de la construcció.
- Disseny del pàrquing i el seu dimensionament bàsic per poder després replicar per a casos més grans.
- Càlcul de l'estructura bàsica dissenyada prèviament.
- Estudi autonomia dels cotxes elèctric actuals i necessitats de càrrega d'energia en les seves bateries.
- Estudi de la viabilitat i de la instal·lació de plaques solars i si es podrà autoabastir sense necessitat de estar connectats a la xarxa elèctrica.

- (Disseny 3D en programa de l'estructura bàsica).

Les activitats que no quedaran contemplades en el projecte seran:

- Disseny dels plànols amb detall dels sistemes d'instal·lació no estructurals.
- Disseny dels diferents sistemes elèctrics necessaris.
- El càlcul de tots els costos es realitzarà de manera estimada.

4. Especificacions bàsiques

Para la satisfacció del nostre projecte, les condicions que hem de seguir i complir són:

- El pàrquing en plena capacitat ha de tenir la suficient energia per poder carregar les bateries de tots els cotxes estacionats en el mínim de temps possible.
- El pàrquing ha de complir amb la normativa tècnica a Catalunya tant a nivell estructural com a en risc d'incendi.
- Utilització del número òptim de plaques elèctriques amb l'objectiu de aconseguir un equilibri sostenible.
- Accessibilitat al màxim tipus de vehicles elèctrics degut a que el pes respecte a un cotxe convencional es diferent.
- Distribució de les places d'aparcament de forma òptima respectant unes mesures còmodes per poder aparcar qualsevol tipus de vehicle.

5. Estat de l'art

Des de fa molts anys s'han anat desenvolupant mil formes de construcció i càlculs per a mantenir les estructures en peu. Cada cop més de la mà de l'avenç tecnològic la construcció a tirat cap a utilització de materials més lleugers i més resistents com és en aquest cas l'acer amb certs components aliats que li donen propietats espectaculars.

És molt complicat conèixer amb exactitud quan va ser l'època on es va començar a utilitzar l'acer, però s'han trobat restes d'artefactes cap als anys 3000 a.C. a Egipte on es va fer ús del ferro per a confeccionar-los, i més tard cap a als anys 1800 a.C. es van trobar treballs de fundació sobre el ferro a la Índia. L'acer subproducte de ferro forjat es va convertir en el material preferit per a fabricar espases i armadures. Realment totes aquestes dades ens parlen sobre el començament de l'Edat de Ferro que va suposar un dels principals impulsos històrics de la civilització humana i que han sigut les bases ancestrals del que en avui en dia coneixem com acer.

Durant la història va haver-hi una limitació important degut a que els ferrers només podien fabricar acer en petites quantitats i amb dificultat. Llavors a mitjans del segle XIX l'enginyer Henry Bessemer va crear i registrar la patent de la forma de aconseguir acer en grans quantitats i de gran qualitat cosa que va contribuir de gran manera al desenvolupament de l'època de la revolució Industrial amb la construcció de grans edificis que van marcar un punt d'inflexió en la recent història tal com va ser el cas de la Torre Eiffel construïda durant els anys 1887 i 1889. Després d'aquest fet, l'ús d'acer per construir edificis de grans dimensions va créixer exponencialment on es va generalitzar després de la Segona guerra mundial, quan hi va haver major disponibilitat d'aquest material.

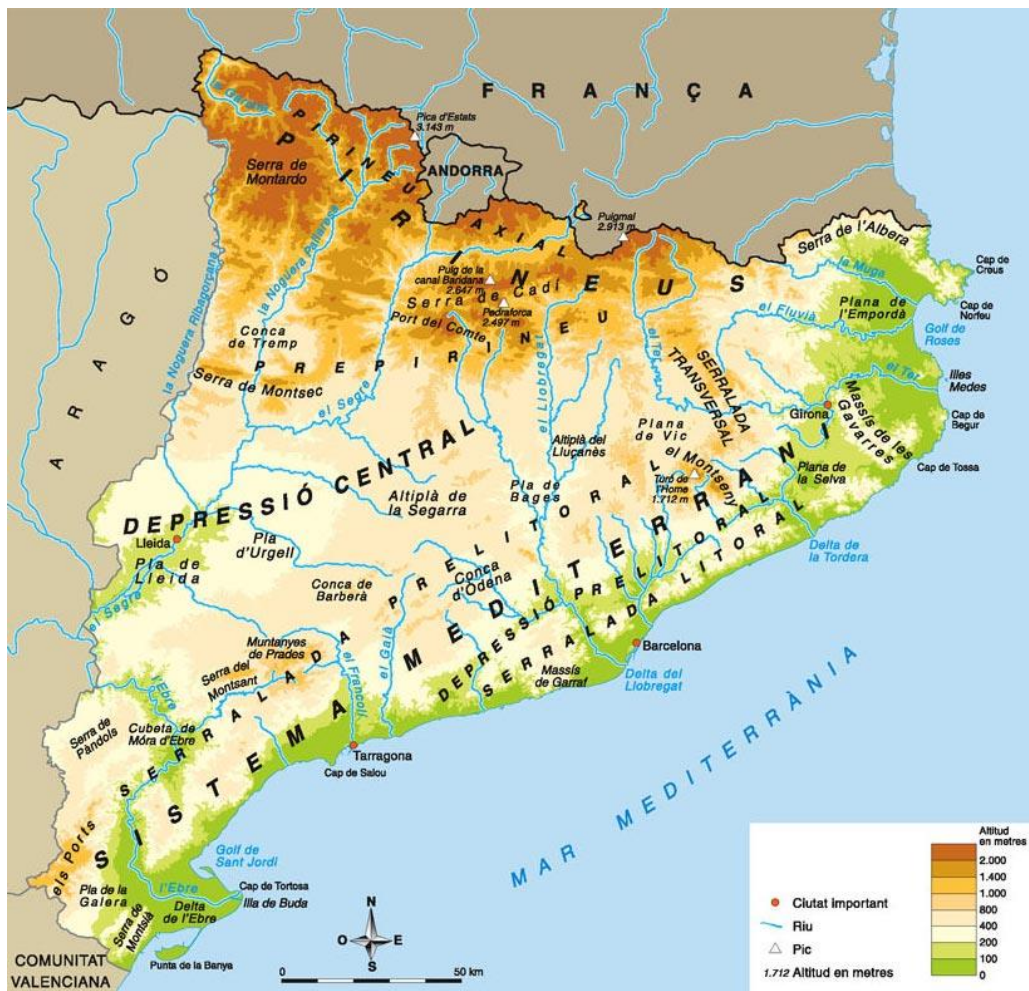
Els edificis d'acer han estat àmpliament acceptats perquè es poden desenvolupar estructures molt més altes que amb el formigó, situació molt valorada en les grans ciutats del món on els terrenys són escassos. Actualment l'acer està sent utilitzat amb menor proporció que el formigó degut a que presenta problemes davant el foc i la corrosió, però amb el pas del temps s'aniran desenvolupant tecnologies que permetin que sigui molt més competitiu en el mercat.

Un altre punt d'inflexió en la construcció ha sigut el desenvolupament de programes per ordinadors que ajudi i facilitin el càlcul estructural reduint el temps total d'execució d'un projecte amb la implantació de la metodologia BIM que està en un gran creixement exponencial. Amb aquesta metodologia de treball es poden aconseguir grans resultats optimitzant tots els processos crítics implicats en el projecte.

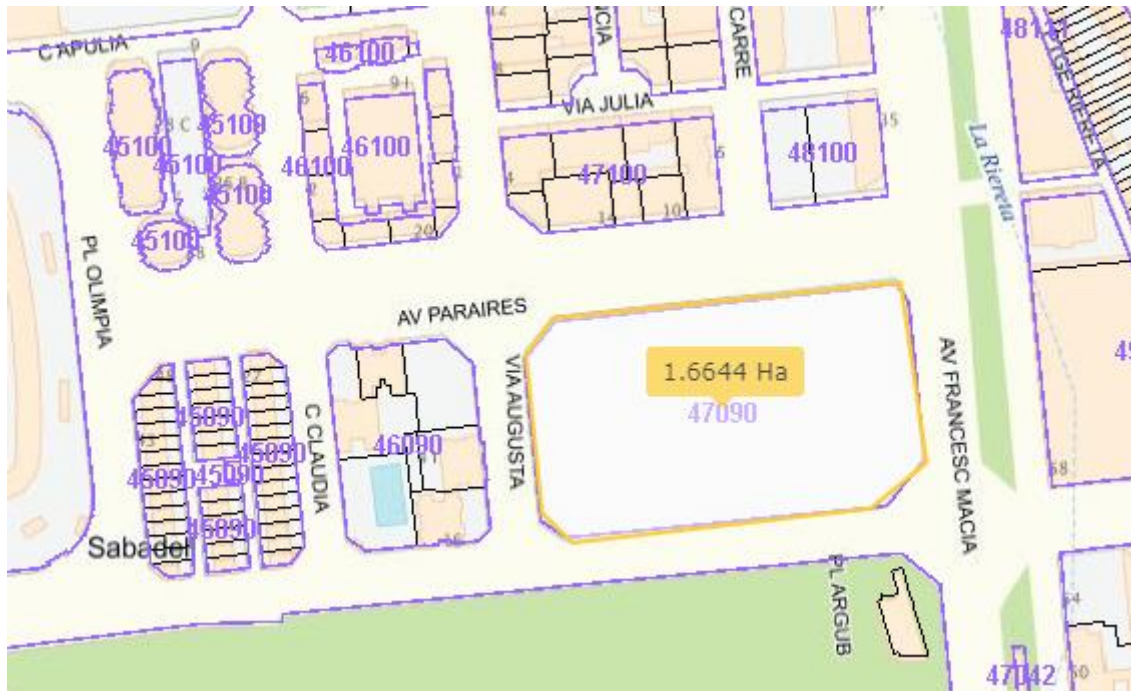
6. Localització del pàrquing

El projecte realitzat avalua en general la possibilitat d'implantació d'un mòdul de pàrquing escalable a qualsevol lloc del món, però com les accions a considerar depenen del territori on ens situem, realitzarem l'estudi del projecte en referència al territori de Catalunya, on sense cap dubte tots els passos que seguim es podrien servir de pauta per a possibles projectes del mateix àmbit a altres països i regions.

Dintre de Catalunya haurem de situar-nos en una zona concreta degut a que en el DB-SE que fa referència a les accions, en el cas de les variables degudes a fenòmens ambientals com el vent i la neu, ens classifica el territori en diferents àrees degut a que cadascuna tindrà una acció equivalent diferent on encara que la diferència no sigui gaire gran s'haurà de tenir en compte i quantificar si la diferència es suficientment gran per resultar significativa.



II·lustració 1: Mapa físic de Catalunya. Extret de: [1]



Il·lustració 3: Ampliació de la zona del terreny. Extret de: [2]

7. Recerca d'informació respecte la normativa vigent i comparativa entre vehicles elèctrics i convencionals

7.1. Risc d'incendis:

Pel que fa en aquest primer apartat l'objectiu és determinar si els cotxes elèctrics tenen el mateix risc d'incendi que els cotxes convencional pel que fa la normativa del codi tècnic de protecció contra incendis. L'objectiu d'aquesta consulta era trobar alguna avantatge en comparació als cotxes convencionals de gasolina o dièsel per tal d'aplicar una normativa menys restrictiva.

Per tractar aquest tema vaig decidir contactar amb el cap de bombers de la generalitat en l'apartat de normativa i codi tècnic en Miquel Rejat Rodríguez.

Després de contactar amb ell, ens va donar la següent informació:

“La normativa d’incendis en pàrquings coberts és independent de l’energia que els impulsa. És cert que els dipòsits d’inflamables tenen un risc molt gran però els elèctrics també, encara que d’altre índole; qualsevol emmagatzematge d’energia té els riscos associats als seus components específics i, en el cas dels elèctrics s’hi afegeix l’acció de càrrega. Com bé saps la prevenció específica en la utilització i manipulació d’energies està legislada des de l’òptica de la seguretat industrial.”

Podem concloure aquesta petita investigació sense treure cap avantatge respecte els cotxes elèctrics davant als convencionals respecte a la normativa que seguirem aplicada a edificis/pàrquings, on aquesta és genèrica i es correspon amb la que dicta el “Codi Tècnic de l’Edificació” [3] on en la següent referència podem trobar l’enllaç a la pàgina web de la generalitat on hi ha tota la informació necessària.

Un altre punt a tenir en compte en el disseny és el que respecta al risc d’incendi pel que fa a l’actuació i accessibilitat dels bombers. Com el mòdul serà només de dues plantes no superarem els 9m d’alçada, no haurem de disposar d’un espai exterior de maniobra amb condicions específiques tal com indica la normativa vigent [3]. Per tant, només entrarem en la recerca d’informació respectiva que afecti al disseny del pàrquing i acabi influint en l’estructura. No considerarem en el nostre treball on col·locar els elements d’extinció d’incendis ni dimensionar els elements d’evacuació com les escales i més.

Segons el document d’ArcelorMittal [4], en les últimes dècades la propagació del foc des de un vehicle rarament ha arribat a més de tres vehicles adjacent. En assajos reals, s’han registrat temperatures locals en l’acer de fins a 700 °C en període curt de temps en pilars i bigues sense protecció contra incendis. Aquestes temperatures no van provocar ni el deteriori ni tan sols ceretes deformacions persistents en l’estructura.

Encara que aquestes dades no resultin una gran amenaça per a l’estructura sempre més val estar preparat i complir la normativa vigent antiincendis proporcionant a l’acer d’un recobriment específic que faci millorar les seves propietats en front al foc i al possible augment local de la temperatura.

7.2. Codi tècnic:

En aquest apartat analitzarem els requeriments essencials a complir per part d’un edifici, més concretament un pàrquing. Farem referència en tot moment al document de la Generalitat de “Direcció General de Prevenció, Extinció

d'Incendis i Salvaments" [3] degut a que estem estudiant la viabilitat d'implantació a Catalunya.

En el nostre cas com estem estudiant la viabilitat d'estudi d'un mòdul d'aparcament, ens interessa l'apartat relacionat amb els requeriments dels sistemes estructurals principals que es realitzaran amb acer i al no ser formigó, la normativa es més exigent. Per tant només ens centrarem en la normativa aplicada a elements estructurals ja siguin bigues, forjats, suports o altres. Si ens centréssim en tots els elements que cobreix el codi tècnic sens sortiria de l'abast del projecte degut a la falta de recursos per dur a terme la tasca.

7.3 Comparativa entre cotxe elèctric i convencional:

En aquest apartat farem una petita comparativa entre els factors a tenir en compte a la hora de dissenyar una estructura exclusiva per a cotxes elèctrics partint de les actuals per a cotxes convencionals.

En primer cas com hem vist en l'estudi respecte del risc d'incendi d'un cotxe, no hi ha cap diferencia significativa i per tant a l'aplicar-se la mateixa normativa general, en el mòdul dissenyat podrien accedir tant cotxes elèctrics com de gasolina i dièsel.

Pel que respecta a nivell estructural hi ha un factor a tenir en compte a la hora de dimensionar el pàrquing degut a que el pes no és el mateix per a cotxes elèctrics i convencionals, per tant haurem de fer un petit estudi per veure fins a quin punt són més pesats els vehicles elèctrics.

Hem agafat una mostra de diferents models de cotxes i diferents dimensions per trobar una estimació de com poden arribar a pesar de més. El pes trobat dependrà de les modificacions dintre del mateix model de cotxe, en funció de la gamma escollida per això el pes es un valor estimatiu o ordre de magnitud.

Elèctric		Convencional	
<u>Model</u>	<u>Pes (kg)</u>	<u>Model</u>	<u>Pes (kg)</u>
Tesla Model X	2510	Mercedes GLC 220	1845
Tesla Model S	2240	Volkswagen Passat	1540
Tesla Model 3	1850	BMW SERIE 3	1360
Audi e-tron	2565	Audi Q5	1945
Hyundai Kona	1760	Hyundai Kona	1400

Taula 1: Comparativa vehicle elèctric i convencional

Com podem veure en la següent taula el pes per cotxes elèctrics serà una mica superior al cas de convencionals, factor a tenir en compte a la hora de dimensionar l'estructura principal. Farem un petit càlcul estimatiu per veure el % en que augmenta el pes considerant que el tipus de cotxes que hi ha tenen el mateix pes en l'equació.

$$Augment = \left(\frac{2510 + 2240 + 1850 + 2565 + 1760}{1845 + 1540 + 1360 + 1945 + 1400} - 1 \right) * 100$$

= 35%

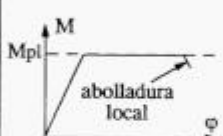

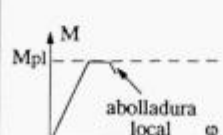

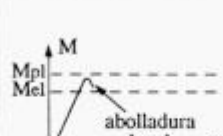

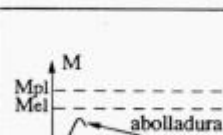

Equació - 1:
Percentatge
d'augment
de pes

Podem veure que el resultat es bastant significatiu degut a que es tracta de un 35% d'augment en el pes degut sobretot a les bateries instal·lades. Aquest fet l'haurem de tenir en compte degut a que haurem de dimensionar per al cas més desfavorable de vehicles elèctrics amb un màxim de pes seguint la respectiva normativa i coeficients de seguretat per distribuir correctament el pes en cada forjat i poder transmetre les càrregues de manera correcta a les bigues.

8. Tipus de perfils d'acer prefabricat

Per dissenyar la nostra estructura haurem de veure quina és l'opció de perfil més viable per a la construcció d'una estructura de les característiques d'un pàrquing ja sigui a nivell econòmic i estructural per a transmetre d'una forma més eficient les càrregues utilitzant el mínim material possible.

Les seccions estructurals d'acer es poden classificar actualment en quatre grups, on aquesta classificació dependrà de les característiques mecàniques de cada perfil i el seu comportament sota unes determinades condicions. Les quatre classes són les següents:

Clase	Modelo de comportamiento	Resistencia de cálculo	Capacidad de rotación de la rótula plástica	Análisis global de la estructura
1		PLÁSTICA sobre toda la sección 	importante	elástico o plástico
2		PLÁSTICA sobre toda la sección 	limitada	elástico
3		ELÁSTICA sobre toda la sección 	ninguna	elástico
4		ELÁSTICA sobre la sección reducida 	ninguna	elástico

Il·lustració 4: Classes d'acers. Extret de: [5]

Classe 1: Plàstica: Permet la formació de ròtules plàstiques amb la capacitat de rotació requerida per al càlcul plàstic

Classe 2: Compacta: Permet el desenvolupament del moment plàstic però la capacitat de rotació és limitada.

Classe 3: Elàstica o semi compacta: La fibra més comprimida pot assolir el límit elàstic de l'acer, però el bony local impedeix el desenvolupament del moment plàstic.

Classe 4: Esvelta: Els elements totals o parcialment comprimits s'abonyeguen abans d'assolir el límit elàstic en la fibra més comprimida.

Els principals criteris o factors de classificació són els següents:

- a) El límit elàstic de l'acer de la secció
- b) La geometria de la secció y , en particular la seva esveltesa (relació dimensió/espessor) dels seus panells comprimits total o parcialment.
- c) Les possibles vinculacions laterals de les zones comprimides.
- d) El signe de la flexió, en el cas de seccions no simètriques respecte la seva fibra neutre.
- e) La relació flector / axial en seccions sotmeses a flexió o compressió composta, el que determina la posició de la fibra neutre i, per tant, la geometria i extensió de las zones comprimides de la xapa.
- f) Las diferents xapes comprimides de una secció transversal, per exemple les ales o ànimes, poden, en funció de la esveltesa i extensió de les seves zones comprimides, tenir assignades classes diferents.

Arribats a aquest punt haurem de veure les avantatges i inconvenients de cada tipus per tal de triar la millor classe de les quatre alternatives respecte les nostres necessitats estructurals. Haurem de descartar opcions més endavant després d'analitzar les càrregues que haurem de suportar en funció de la distribució dels pilar per tota la planta. L'objectiu seria aconseguir un perfil que sigui el més econòmic possible i que compleixi amb tots els requeriments de seguretat estipulats en la normativa, també un altre factor important serà la durabilitat que

pugui tenir cada perfil davant a una determinada càrrega ja sigui puntual o uniformement distribuïda.

A part, el perfil que busquem haurà de complir les especificacions de disseny d'un pàrquing i fer que la seva implementació sigui el més fàcil i econòmicament possible. Per tant encara que l'objectiu del projecte es realitzar-lo amb perfils classe 4 també avaluarem la resat de possibilitats per tal d'optimitzar al màxim les prestacions dels elements estructurals.

9. Disseny

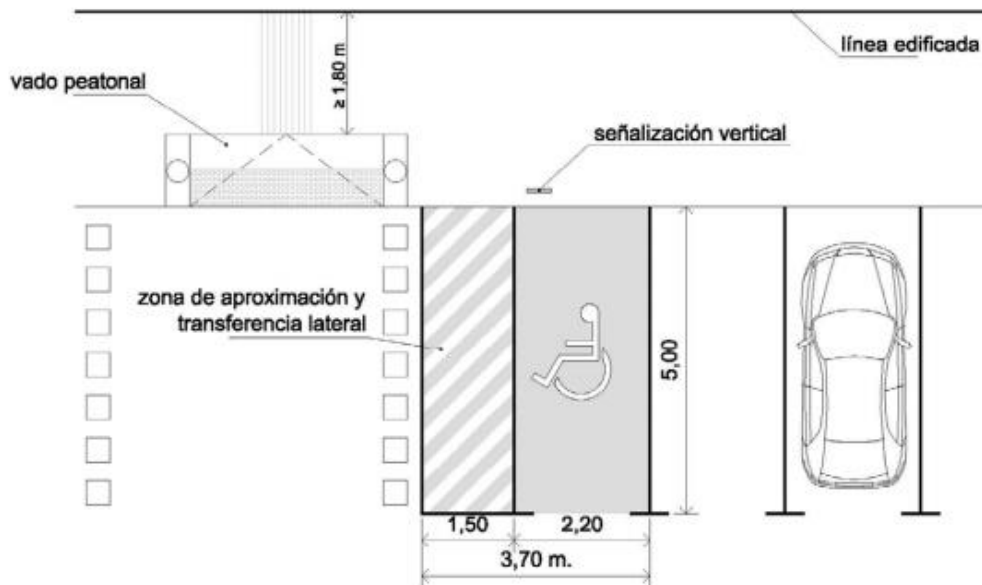
9.1 Places d'aparcament

En aquest apartat, dissenyarem els tipus de places que tindrà el pàrquing tot seguint la normativa vigent a Espanya i Catalunya.

QUADRE DIMENSIONS MÍNIMES DE PLACES D'APARCAMENT		
<u>Tipus de vehicle</u>	<u>Longitud (m)</u>	<u>Amplada (m)</u>
Vehicles de dues rodes	2,50	1,50
Automòbil petit	4,00	2,25
Automòbil mitjà	4,50	2,25
Automòbil gran	5,00	2,50
Automòbil per a discapacitats [6]	5,00	3,70

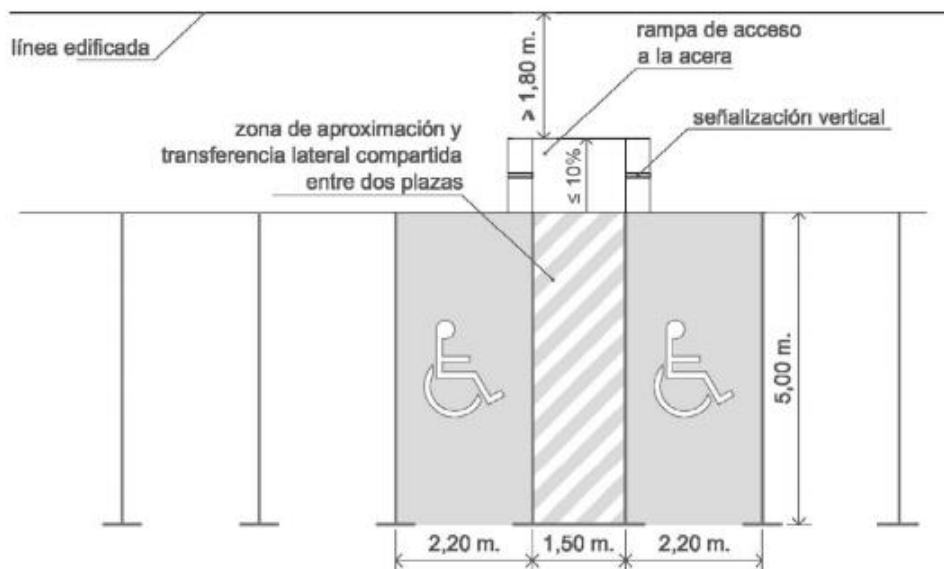
Taula 2: Quadre de dimensions mínimes places d'aparcament. Extret de: [7]

Cas d'una única plaça d'aparcament especial, on tindríem les dimensions més desfavorables a nivell d'ocupació d'espai respecte el següent cas.



Il·lustració 5: Plaça d'aparcament per a minusvàlids individual. Extret de: [6]

Cas d'aparcament compartint zona d'accés per estalviar espai i reduir les dimensions d'ocupació de les places.



Il·lustració 6: Plaça d'aparcament per a minusvàlids individual. Extret de: [6]

En el nostre cas només tindrem tres tipus de places, per a automòbils grans (que englobarà als petits i mitjans), automòbils per a discapacitats i per a vehicles de dos rodes. D'aquesta manera cobrirem tots els tipus de places possibles augmentant la comoditat per a l'usuari a la hora d'aparcar. Per a poder dimensionar la quantitat de places per a turismes i per a motos, haurem de mirar la quantitat de cada tipus que hi ha a Catalunya i en funció de les dades considerar el percentatge per a cada tipus. Les dades les obtindrem de l'Institut d'estadística de Catalunya [8] on les més recents del parc de vehicles són de l'any 2017.

Tipus de vehicle	Número de vehicles	Percentatge
Turismes	3481340	81,18%
Motos	807080	18,82%

Taula 3: Parc de vehicles a Catalunya

Per facilitar el disseny del pàrquing considerarem totes les places iguals i després quan ja tinguem definides les parts essencials com la localització dels pilars, les rampes i les entrades podrem començar a concretar quantes places reservarem a cada tipus de vehicles.

9.2 Dimensions del mòdul bàsic

En aquest apartat dissenyarem les dimensions del mòdul bàsic que es podria replicar i agrupar amb més per poder augmentar les dimensions demandades amb una bon adaptabilitat degut a la relativa facilitat del muntatge de l'estructura d'acer prefabricat.

Considerarem inicialment diverses alternatives i després d'un posterior anàlisi decidirem la millor opció estructural tenint en compte diferents factors. En tots els casos en determinat un disseny de dimensions de 90m x 90m de costat.

Abans d'avaluar les alternatives definirem els factors més interessants per al nostre projecte per poder optimitzar-los en cada una de les alternatives.

- a) Places disponibles
- b) Vies de circulació el més curtes possibles

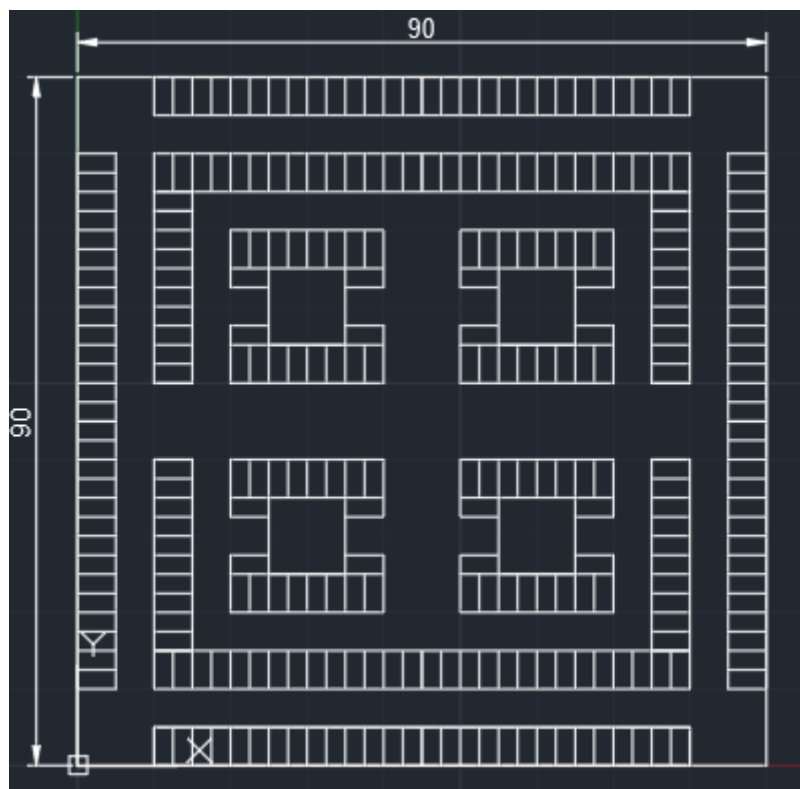
- c) Disposició de les rampes amb una mínima ocupació de superfície
- d) Flux de circulació
- e) Connexió amb altres mòduls

Amb l'Autocad hem fet un disseny bastant bàsic sense gaires especificacions ni entrant en detall de les dimensions que tindria considerant totes les places uniformes respecte a automòbils grans (5,00 m x 2,50 m).

On la següent numeració que veurem en els dibuixos indicarà on possiblement podrien situar-se dos elements indispensables en un pàrquing com són les rampes d'accés per canviar de planta i la zona d'accés per a vianants.

- 1) Zona d'accés a vianants mitjançant escales i ascensor
- 2) Zona de rampes per permetre l'accés a la planta actual
- 3) Places reservades a vehicles amb minusvàlids

Model A:



Il·lustració 7: Model A (unitats en metres)

En aquest primer model, podem veure una distribució uniforme i simètrica, on les rampes d'accés per a vehicles estarien situades als quatre extrems on tenim un

espai reservat per aquestes. Per altre banda, els quatre quadrats centrals, tindrien cadascun un lloc d'accés per a vianants i poder entrar i sortir del pàrquing, es a dir, seria la zona destinada al flux de persones. Amb aquest disseny, hauríem de reservar les places per a persones minusvàlides a les zones més properes de entrada i sortida per a vianants. Aquestes places les podrien situar a les 4 places sobrants de cada quadrant central amb un total de 16 per mòdul.

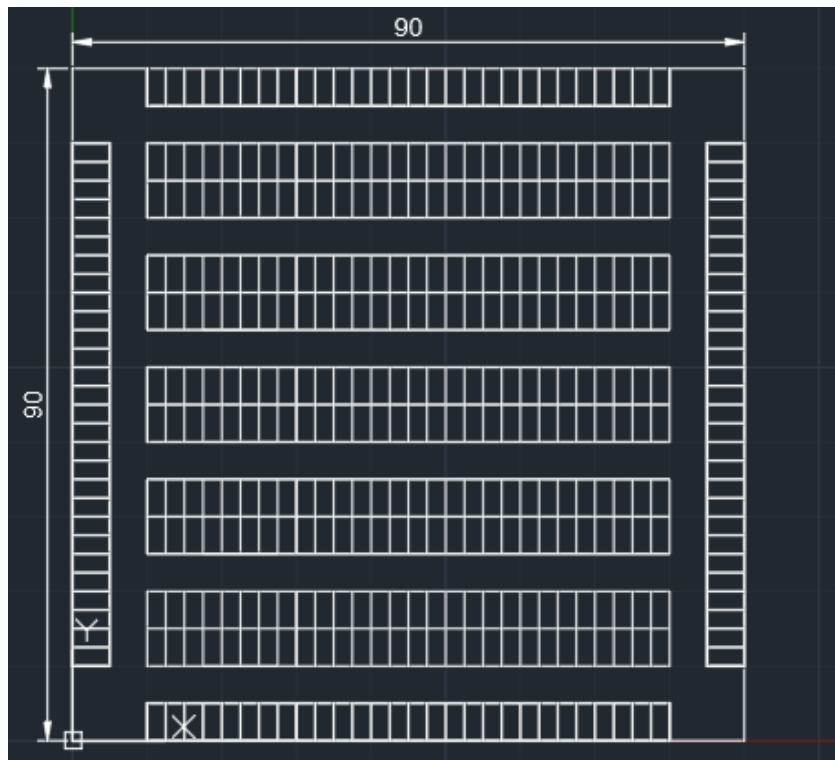
Pel que fa a la capacitat d'aquest primer disseny, hi hauria disponibilitat per a 288 vehicles incloent dintre d'aquestes 288 16 places especials. També podríem reservar una zona per a vehicles de dues rodes, però no ens suposaria cap inconvenient.

Model B.

En aquest segon disseny, seguim mantenint les quatre zones de rampes als extrems del mòdul i les zones de vianants les dissenyaríem en la meitat de les quatre files que estan acorades als límits d'aquest. D'aquesta manera, al costat de l'accés per a vianants habilitaríem una zona per places especials per a persones minusvàlides per a que estiguessin de forma més propera a les zones d'entrada i sortida on tindrem tot el flux de vianants.

Pel que fa al número de places disposaria d'unes 392 places però realment serien unes poques menys ja que hauríem d'habilitar aquest espai a les zones d'accés on quedarien un total de 368 incloent 16 per a dimensions de vehicles amb minusvàlids.

Pel que fa al flux de cotxes, no hi hauria tantes zones per circular però la distribució milloraria el flux i per tant les cues d'espera en el cas de coll d'ampolla. Per altre banda, el espai reservat a circulació seria el mínim possible seguint la normativa vigent i per tant seria un punt molt positiu d'aquest model ja que optimitzaria al màxim la capacitat de cada planta.

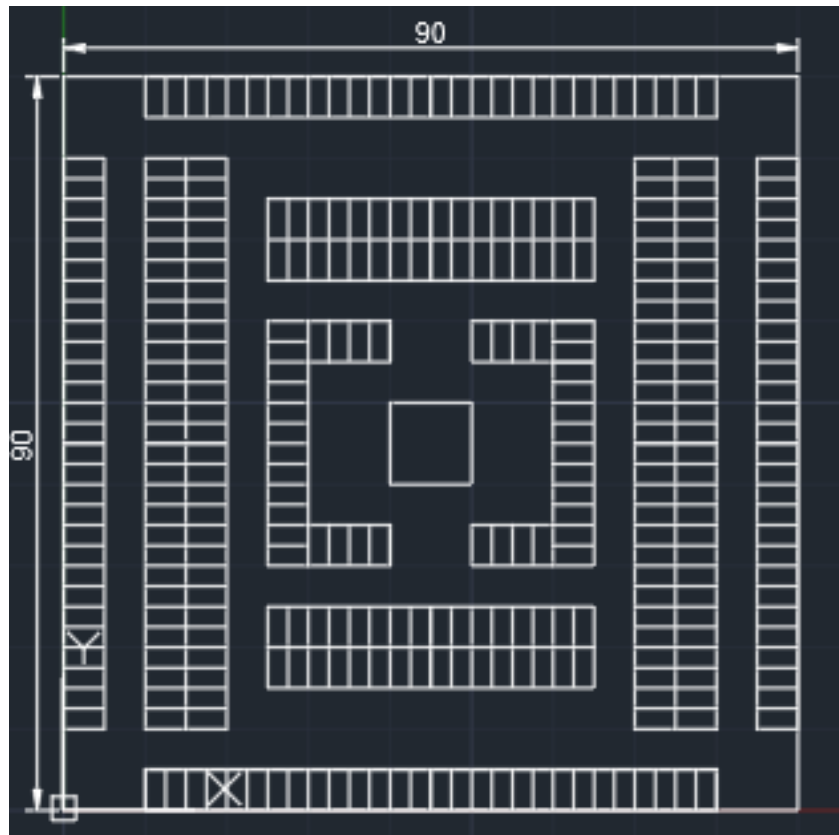


Il·lustració 8: Model B (unitats en metres)

Model C:

En aquest cas, la rampa d'accés es situaria al centre de tot i les zones d'accés als vianants als quatre extrems on en els altres dos models es situaven les rampes. En aquesta distribució tenim un flux d'entrada de cotxes divergent i una sortida convergent. La idea de posar la rampa al centre es crear una rampa circular per accedir a les diverses plantes amb doble sentit de circulació.

La capacitat del pàrquing seria d'unes 328 places incloent 8 per a minusvàlids als extrems, el més propers a la zona d'accés per a vianants. Pel que fa al possible flux de circulació tenim menys zona que en el model a però més que en el c, el problema es que no tenim la millor distribució possible ja que podríem tenir problemes en les zones de rampes d'accés. El punt positiu es que repartim el màxim de distribuït la zona d'accés per a vianants, on en els casos anteriors poder estaven massa properes l'una de l'altre.



Il·lustració 9: Model C (unitats en metres)

Factors	Ponderació	Alternatives		
1-10	1-5	A	B	C
a) Places disponibles	5	6	10	8
b) Vies de circulació el més curtes possibles	4	4	8	6
c) Disposició de les rampes amb una mínima ocupació de superfície	3	6	6	10
d) Flux de circulació	2	10	6	8
e) Connexió amb altres mòduls	5	10	10	6
Puntuació total		134	162	140

Taula 4: Comparació d'alternatives del disseny del mòdul bàsic

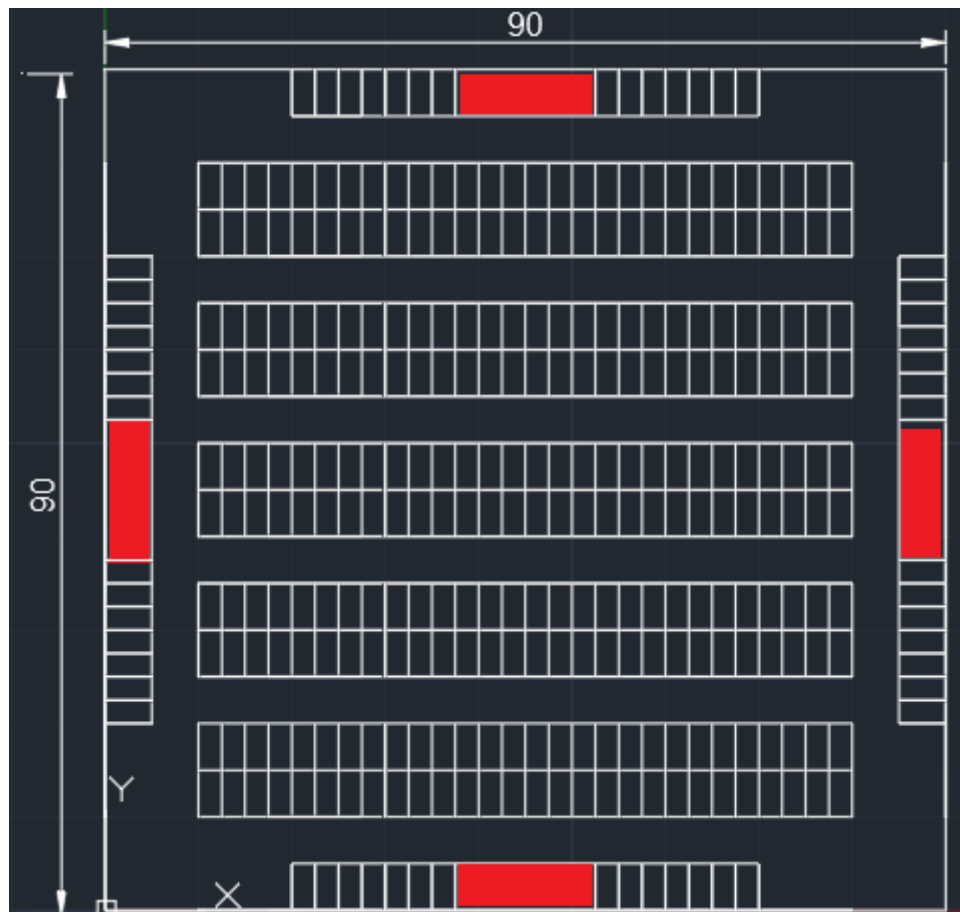
Per tant, la millor alternativa de disseny és el model B que desenvoluparem en més detall en els següents punts.

9.3 Mòdul bàsic desenvolupat

En aquest apartat desenvoluparem el mòdul bàsic partint del disseny seleccionat a l'apartat anterior. Llavors, haurem d'acabar de dissenyar la zona de les rampes més a fons a part de la zona destinada a l'accés de vianants i sobretot veure si compleix els requisits d'evacuació segons dicta el codi tècnic en l'apartat d'extinció d'incendis i salvaments en pàrquings.

9.3.1 Zona d'accés per a vianants

Haurem de dimensionar les zones destinades a l'entrada dels vianants a l'edifici complint la normativa, on primer de tot situarem les quatre zones que considerarem per accés a vianants, situades en la meitat dels quatre costats que formen la geometria del pàrquing. Aquestes zones encara no estan definides del tot en quant a les dimensions per això no hem posat cap cota però si que estaran localitzades en aquestes zones, on la nostra intenció es que es pugui instal·lar un ascensor i unes escales complint amb la normativa del codi tècnic però que no definirem nosaltres ja que no és objectiu del nostre treball.



Il·lustració 10: Zones d'accés per a vianants (unitats en metres)

Haurem de considerar el pitjor cas per a l'evacuació d'un vianant situant-lo a la distància més llunyana de qualsevol entrada i veure si complim la normativa.

3.2. Recorreguts d'evacuació ⁽¹⁾		
Nombre de sortides i recorreguts* màxims (* Els recorreguts es poden augmentar un 25 % si el sector disposa d'extinció automàtica)	1 sortida	- Ocupació ≤ 100 persones - Recorreguts ≤ 35 m (*43,7m) o bé ≤ 50 m (*62,5m) si ocupació < 25 persones i sortida directa a espai exterior segur o espai a l'aire lliure amb risc d'incendi irrellevant (terrassa, coberta edifici...) - Altura d'evacuació descendent < 28 m - Altura d'evacuació ascendent < 10 m - No hi ha recorreguts per mes de 50 persones on l'evacuació ascendent sigui > 2 m
	Més d'una sortida	- Recorreguts d'evacuació < 50 m (* 62,5m), excepte en espais a l'aire lliure sense risc d'incendi (terrasses, cobertes...) < 75 m - Longitud sense alternativa $<$ longitud màxima admissible en cas d'una única sortida.
	Més d'una sortida d'edifici	- Quan calgui per l'ocupació de planta o bé per tenir més d'una escala descendent o més d'una escala ascendent.
	Locals de risc especial	- Recorreguts evacuació ≤ 25 m (* 31,2m)

II·lustració 11: Normativa recorreguts d'evacuació. Extret de: [3]

Com podem comprovar en la imatge anterior, la major distància seria de 45 metres en el cas d'estar en els extrems o en el centre del pàrquing. Com tenim més d'una sortida i el pàrquing no es de risc especial, haurem de tenir una distància màxima d'evacuació inferior als 50 metres o 62,5 metres (en el cas de tenir un sistema d'extinció automàtica). Com estem per sota d'aquest valor el nostre disseny complirà amb la normativa vigent a Catalunya.

9.3.2 Disseny de les rampes

Per a dissenyar les rampes haurem de complir la normativa vigent corresponent a estacionaments i garatges a Catalunya [9].

Primer de tot hem hagut d'escollir la zona on estarien les rampes partint del primer model dissenyat. Aquestes estaran situades als quatre extrems i tindran un únic sentit, es a dir, tindrem un total de quatre rampes iguals però dues tindran un sentit ascendents i les altres dues un sentit descendent de circulació.

Abans de començar a dissenyar les rampes hem de veure sota quina normativa estem sotmesos amb l'objectiu d'adaptar-nos a aquesta complint les necessitats del pàrquing.

-En l'apartat d'evacuació (DB SI 3, DB SUA 1 a 5) [3], les rampes per circulació de vehicles i persones no han de superar el 12% de pendent sense cap limitació de la longitud d'aquestes.

Les limitacions de les rampes i especificacions a complir en la normativa urbana es regeixen en l'article 112 i 113 del document nombrat al principi d'aquest apartat amb les següents conseqüències:

- Les rampes tindran l'amplària suficient no inferior a 3 m. per al lliure pas dels vehicles; quan des d'un extrem de la rampa no sigui visible l'altre, i la rampa no permeti la doble circulació, s'haurà de disposar d'un sistema de senyalització adequat de bloqueig.

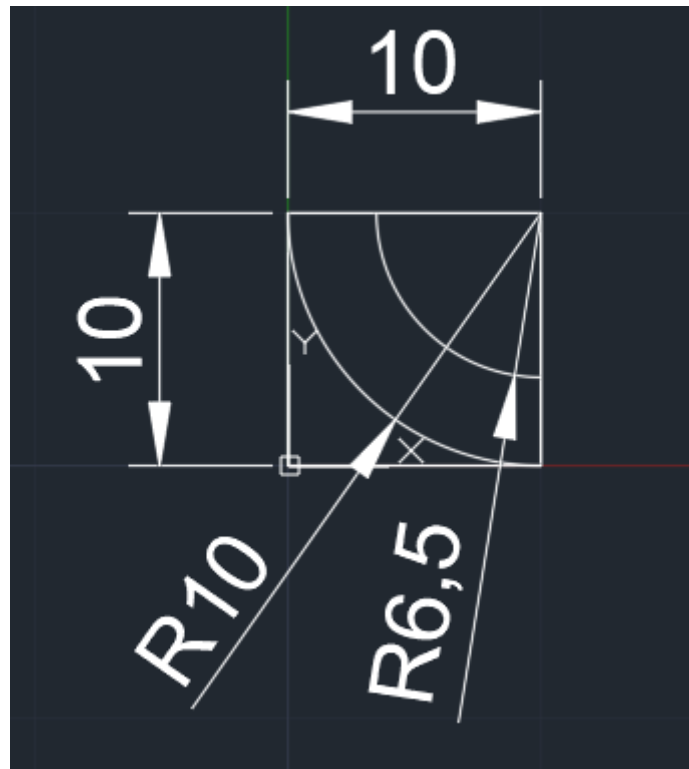
En el nostre cas les rampes seran de 3,5 m d'amplada i d'únic sentit de circulació, per tant complirem aquets apartat.

-Els garatges-aparcament amb capacitat per a més de 40 places hauran de disposar almenys d'un accés per a dos sentits de circulació d'un ample no inferior a 5,40 m. o de dos accessos per a un sol sentit de 3 m. d'amplària mínima per a cada un. Aquesta amplària s'haurà de respectar a l'entrada i en el tram corresponent, almenys, als primers 4 m. a partir de l'entrada.

Els accessos corresponents els tenim situats a cada banda i tindran una amplada de 6 m totals degut a que serà de doble sentit de circulació.

- Les rampes no sobrepassaran el 20 per 100 en el punt de màxim pendent. La seva amplària mínima serà de 3 m., amb el sobreample necessari a les corbes, i el radi de curvatura, mesurat també a l'eix del carril de circulació, serà superior a 6 m. En els 4 m. de profunditat immediats als accessos del local, les rampes tindran un pendent màxim del 4 per 100 quan hagin de ser utilitzades com a sortida al carrer.

Una vegada ja amb totes les especificacions considerades, haurem de començar el dimensionament de les rampes. Primer de tot hem de considerar un primer càlcul per veure si es viable respecte el pendent que tindria la rampa amb un màxim d'aprofitament de l'espai disponible.



Il·lustració 12: Rampa model inicial (unitats en metres)

Amb aquest disseny de la rampa calcularem la pendent mitjà que tindrà i veure si es menor al 12%. On P (serà la pendent), h (l'altura lliure considerada, en aquest cas 2,30 metres superior als 2,20 metres mínims que exigeix la normativa [9] a l'article 109) més la dilatància que ocuparà el forjat mixt de 0,46 metres per arribar a la següent planta i s (a la distància o llargada de la rampa on en el cas de tenir una corba, seleccionarem el radi mitjà dels dos que el delimiten).

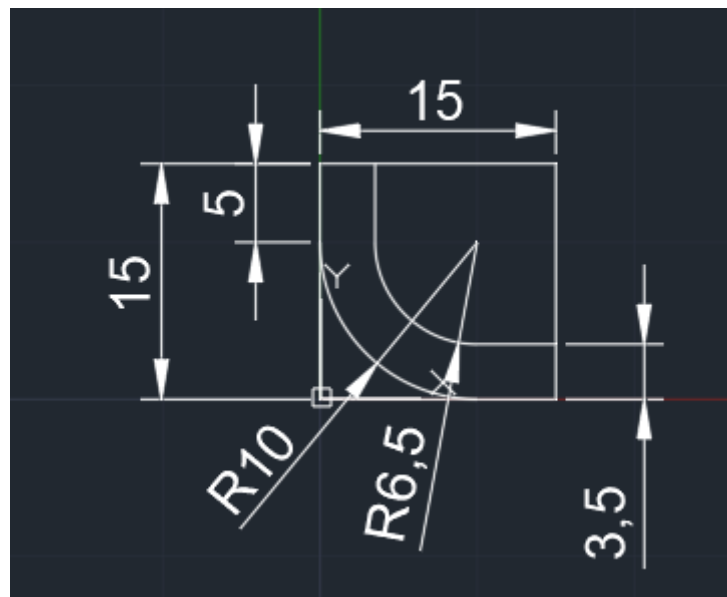
$$P(\%) = \frac{h}{s} \cdot 100 = \frac{2,76}{\frac{(10 + 6,5)}{2} \cdot \frac{\pi}{2}} \cdot 100 = 21,3\%$$

Equació - 2:
Pendent de la
rampa

Com podem veure el 21,3% supera el 12% i per tant haurem de fer-hi modificacions significatives. La idea per complir les restriccions ocupant el mínim d'espai ha sigut trobar la distància recorreguda necessària per a poder afrontar un 12% de pendent que imposarem com a mitjana màxima per a millor satisfacció de l'usuari.

$$s = \frac{h}{P(\%)} \cdot 100 = \frac{2,76}{12} \cdot 100 = 23 \text{ m} \quad \text{Equació - 3: Distància recorreguda}$$

El resultat és de 23 m, i per tant en l'anterior disseny només considerant la curvatura, ens sortia una s aproximadament de 13 m i per tant si afegim 5 metres a la part superior i 5 metres de la part inferior cobrirem les 10 m necessaris per arribar als 23 necessaris.



Il·lustració 13:Rampa model definitiu (unitats en metres)

Per realitzar el pas de la rampa de la manera més còmoda per als vehicles farem que els trams inicials i finals tinguin menys pendent que el tram del mig per a facilitar l'entrada i sortida a aquestes sense tenir problemes al canviar d'una pendent del 0% a una del 10%. Llavors en el tram del mig, considerarem una pendent del 12% i a partir d'aquest valor obtindrem el pendent que podrem obtenir com a mínim en el primer tram de la rampa.

$$s = \frac{h}{P(\%)} \cdot 100 \rightarrow h = \frac{13,35 \cdot 12}{100} = 1,60 \text{ m}$$

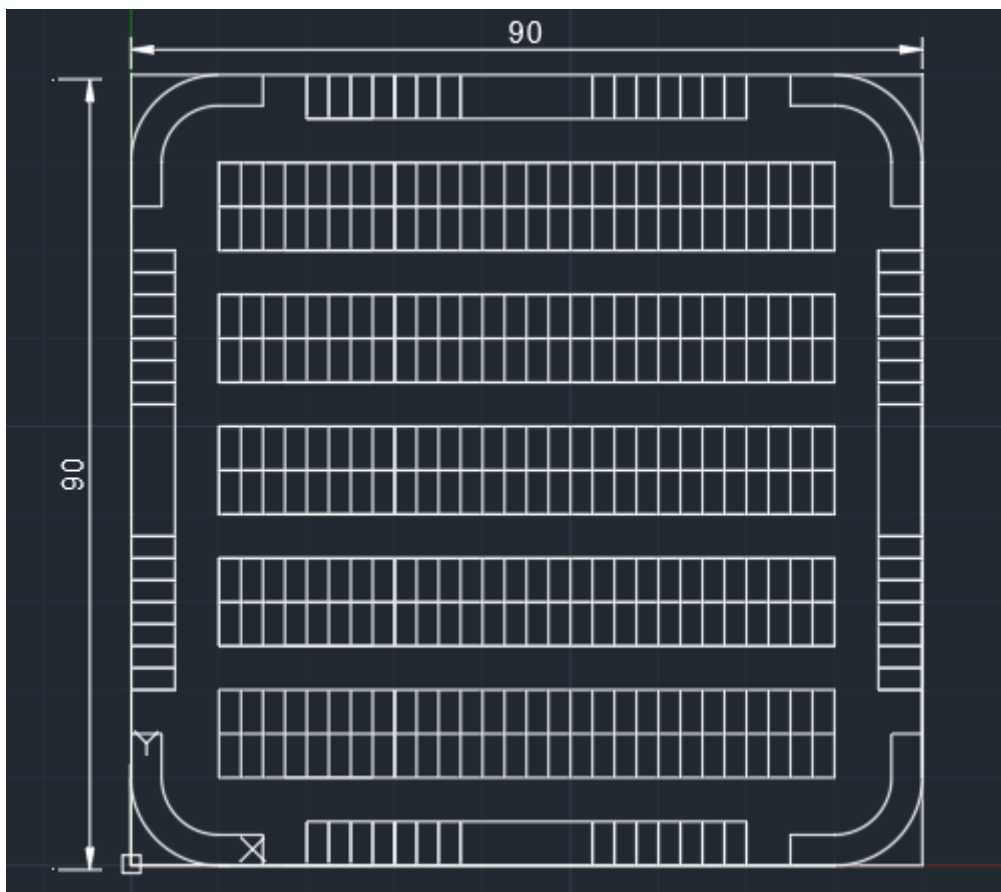
Equació - 4:
Alçada necessària
als trams extrems

$$s = \frac{h}{P(\%)} \cdot 100 \rightarrow P(\%) = \frac{2,76 - 1,60}{10} \cdot 100 = 11,6 \%$$

*Equació - 5:
Pendent mínima
necessària als
trams extrems*

El valor serà d'un 11,6 % inferior al 12% que havíem plantejat inicialment.

A continuació mostrarem on es situaran a priori les rampes en el pàrquing encara sense conèixer el sentit de circulació que hi haurà en el pàrquing. Com podem veure, estaran situades en els quatre extrems on hauran de recórrer una distància aproximada de 23 metres per a poder assolir el canvi de planta amb pendent mitjaneres properes al 12%. Distingirem dues zones en les rampes, les inicial i final amb rampes del 11,6 % i la zona del mig amb una pendent una mica superior d'un 12%.



Il·lustració 14: Mòdul del pàrquing amb les rampes (unitats en metres)

A continuació mostrarem unes imatges del model en 3D realitzat on podem apreciar amb més detall les característiques de la rampa on estaran aguantades

per les bigues IPE i que al estar en la zona dels extrems estan dimensionades per aguantar més càrrega que la que els hi pertocaria i per tant podran aguantar el pes de la rampa i els vehicles que i circulin de sobres.

9.3.3 Disseny de l'entrada per als vehicles

El disseny de les entrades per a vehicles vindrà acompanyat d'una entrada al costat per a vianants per a poder accedir amb major facilitat a la planta inferior degut a que hi haurà quatre sortides més per a usuaris del pàrquing a través de la qual podran accedir a la planta superior del pàrquing.

La normativa dicta les següents especificacions a complir en l'article 112:

Els garatges-aparcament amb capacitat per a més de 40 places hauran de disposar almenys d'un accés per a dos sentits de circulació d'un ample no inferior a 5,40 m. o de dos accessos per a un sol sentit de 3 m. d'amplària mínima per a cada un. Aquesta amplària s'haurà de respectar a l'entrada i en el tram corresponent, almenys, als primers 4 m. a partir de l'entrada. [7]

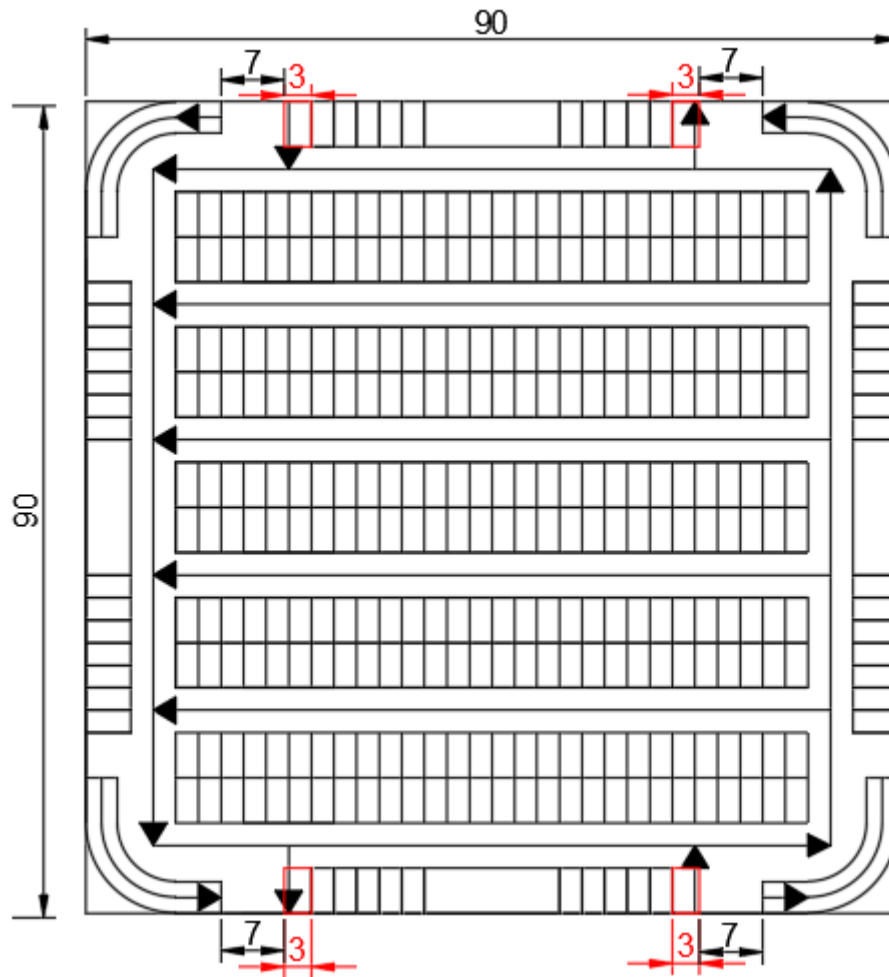
Els garatges-aparcament amb capacitat per a més de 100 places hauran de tenir com a mínim dos accessos, que en aquest cas seran abalisats de manera que s'hi estableixi el sentit únic de circulació. [7]

La normativa respecte l'accés a vianants la regeix l'article 111:

Els aparcaments amb capacitat per a fins a quaranta 40 places hauran de disposar d'accés per a vianants des de l'exterior, separat físicament de l'accés de vehicles o protegit de manera adequada i amb un ample mínim de 0,90 m. Els que tinguin una capacitat de quaranta-una a cent places disposaran d'un segon accés, i d'un altre accés per cada cent places més. [7]

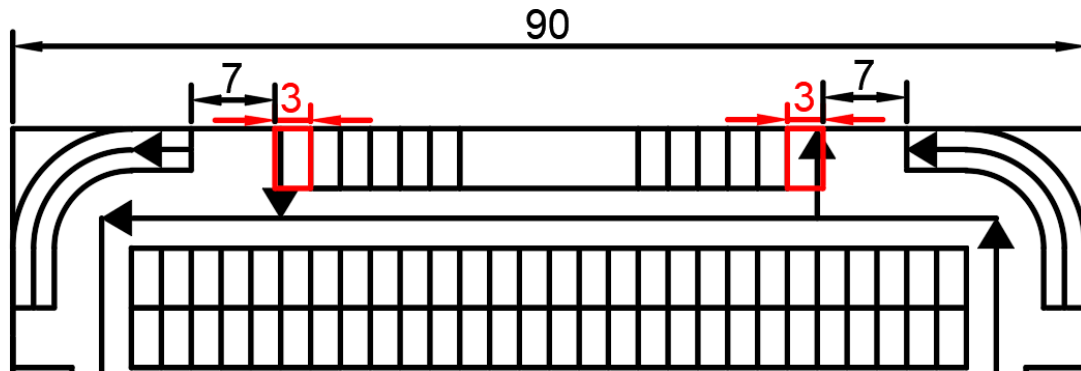
En aquest cas considerarem una amplada de 3 metres per a cada entrada que tindrà un únic sentit per a poder complir la normativa vigent. Llavors, com ens sobrarà un espai significatiu entre la rampa i l'accés ens permetrà tenir més capacitat de maniobra facilitant la conducció per als usuaris d'aquest.

Ara veurem com quedarà el disseny amb el sentit de circulació definit i per on hi haurà les zones d'accés per a vehicles respectant les distàncies definides. En el plànol només acotarem les distàncies significatives importants per a poder avaluar la zona crítica d'entrada i accés a les rampes per canviar de planta.



Il·lustració 15: Disseny planta baixa amb accessos per a vehicles (unitats en metres)

A la següent imatge veurem amb més detall la zona d'accessos per tal d'apreciar d'una manera més precisa l'espai disponible per a poder maniobra per part dels vehicles.



Il·lustració 16: Ampliació d'accessos per a vehicles (unitats en metres)

9.3.4 Disseny de les dues plantes

Per a realitzar el disseny definitiu, haurem d'analitzar els tipus de vehicles que hi ha a Catalunya per a dissenyar el pàrquing de forma coherent a les dades estadístiques del parc de vehicles de la zona corresponent on s'està realitzant la viabilitat d'instal·lació d'aquest. També haurem de reservar un número determinat de places per als usuaris minusvàlids situant-les a zones properes a les zones d'accés. Després realitzarem el disseny de les dues plantes per separat optimitzant al màxim l'espai útil per aparcaments però respectant unes distàncies mínimes per a una còmode circulació per aquest sense tenir que fer maniobres extraordinàries a la hora de circular.

Abans de veure la distribució de les places mostrarem les dimensions més significatives i importants en el disseny que prèviament no s'han mostrat en un únic plànol però que podem extrapolar per a la primera planta.

Dimensions a considerar:

- La distància corresponent entre els mòduls de quatre places d'aparcament per a motos serà de 2 metres per a poder-hi accedir còmodament.
- La amplada per on circularan els vehicles tindrà una amplada de 5 metres amb un sol sentit de circulació, fent molt còmode l'aparcament degut a que al efectuar maniobres per estacionar el vehicle no estorà tant a la resta de turismes o motocicletes.

A continuació, veurem la distribució de les places on hem realitzat una recerca prèvia on hem obtingut les següents dades de vehicles a Catalunya obtingudes a partir del parc de vehicles facilitat a través de IDESCAT.

Turismes	3481340	81,18 %
Motocicletes	807080	18,82 %

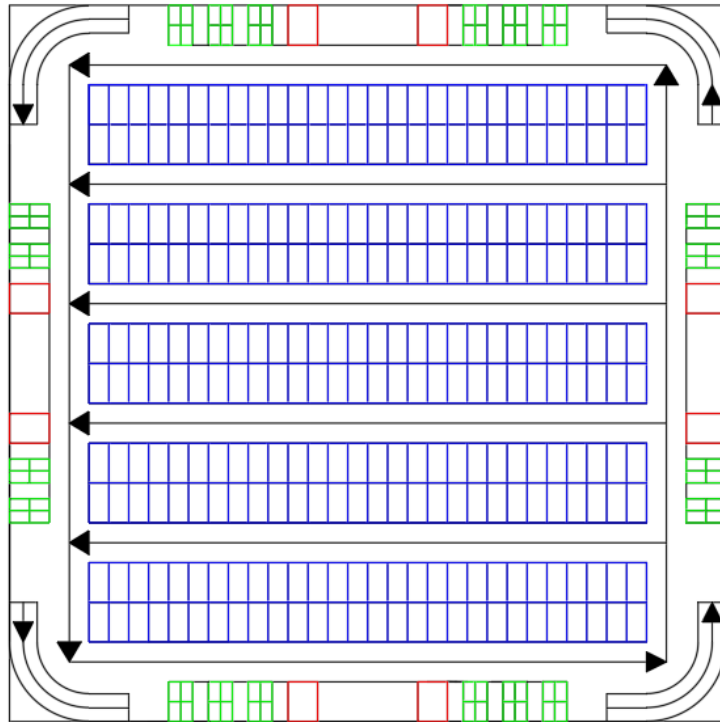
Taula 5: Turismes i motocicletes a Catalunya. Extret de: [10]

A partir d'aquestes dades quantificarem el número de places per a cada tipus de vehicles adaptant-les al nostre disseny. On tindrem aproximadament un 78 % de places reservades a vehicles i un 22 % per a motocicletes.

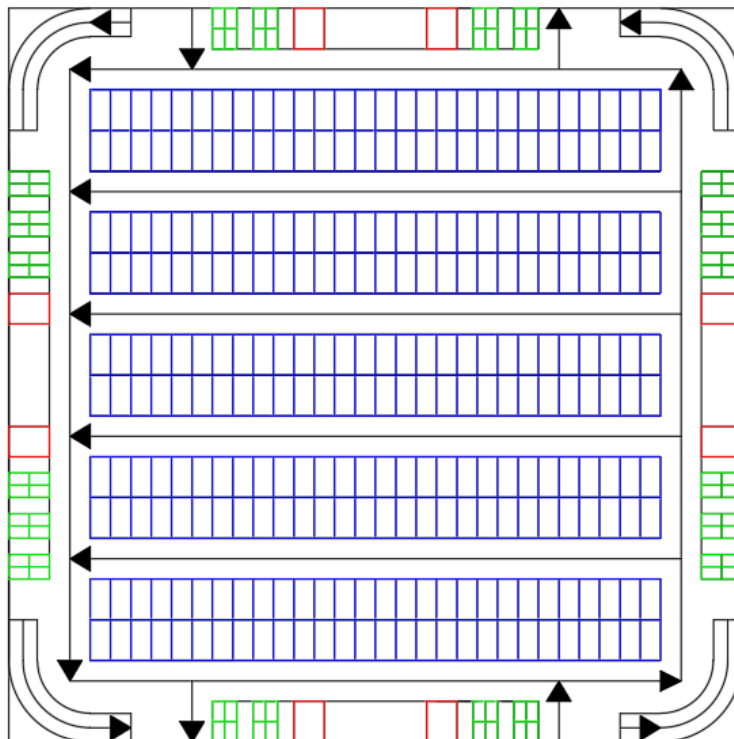
Tipus de plaça	Dimensions longitud-amplada (metres)	Planta baixa	Primera planta	Total
Turisme	(5 x 2,50)	280	280	560
Turisme especial	(5 x 3,70)	8	8	16
Motocicletes	(2,50 x 1,50)	80	80	160

Taula 6: Places d'aparcament disponibles

A continuació realitzarem el model de com quedaria el disseny final amb distinció del tipus de plaça d'aparcament i distingint les dues plantes que tindrà el pàrquing. No hem considerat apropiat posar les cotes als dos plànols ja que la majoria de les dimensions ja estan prèviament definides i les dues plantes respectaran les mateixes dimensions amb una única variació que comentarem més endavant però que no afectarà gaire al disseny. Aquí lo important es veure la distribució i el tipus de places, on els colors de la taula coincideix amb el tipus de plaça corresponent a les següents imatges.



Il·lustració 18: Plànol planta baixa



Il·lustració 19: Plànol primera planta

L'única diferencia entre les dues plantes és la variació de la disposició del bloc de quatre places per a motos que variarà en funció de la planta degut a que s'evitarà que en les sortides o entrades dels accessos a rampes hi hagi menys distància per a maniobrar i que acabi provocant tràfic en el pàrquing, per tant aquesta mesura ajudarà a millorar el flux de circulació interior en el cas d'haver-hi un gran nombre d'usuaris.

9.3.5 Distribució dels pilars

En aquesta part del projecte haurem de veure quina serà la millor distribució dels pilars per tal d'ocupar el mínim espai en les places i sense modificar el disseny del pàrquing. Considerarem tres tipus diferents de distribucions de càrregues i analitzar diferents factors claus per poder triar la millor alternativa.

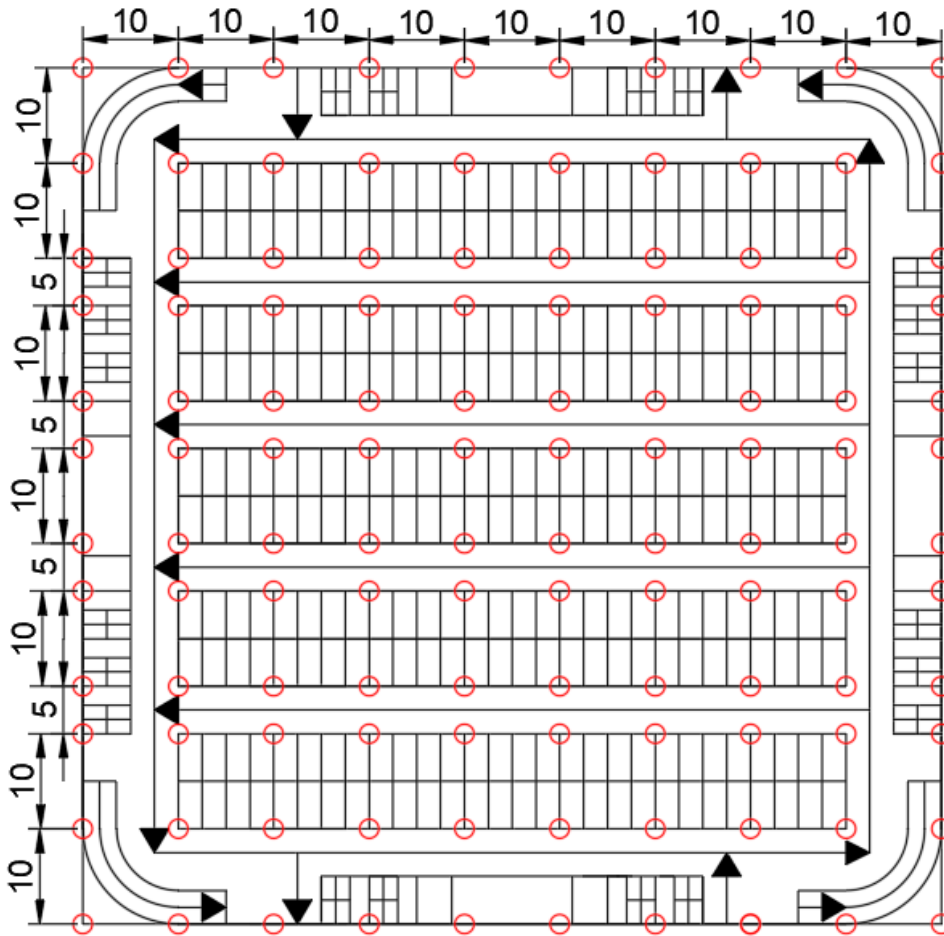
Les diferents alternatives seran diferents mòduls de pilars cada 5 metres, cada 7,5 metres o cada 10 metres. Els factors més importants a considerar seran els següents:

- a) Quantitat de pilars: Aquest factor influirà en la quantitat de material utilitzat i en la disposició de pilars podent quedar el pàrquing molt saturat d'aquest a nivell arquitectònic.
- b) Reducció de la plaça d'aparcament: És un dels factors més crítics en el nostre cas degut a que si hi ha molts pilars i la secció d'aquest és molt gran, l'espai útil per aparcar es veurà reduït dificultant l'estacionament i la sortida de dintre el vehicle degut a que les portes podrien tocar amb els pilars, per això en l'aparat de disseny de les places vam considerar el cas més desfavorable amb les places el màxim de gran possibles per poder reduir la influència d'aquest factor.
- c) Facilitat d'implementació: En aquest factor avaluem la viabilitat d'instal·lació d'aquest pilars sense modificar l'actual disseny o sense modificar la seqüència de pilars escollida per una altre que combini més de una.
- d) La secció del pilar: Avaluem una secció més petita amb major puntuació que una secció gran, es a dir, la mida de la secció és inversament proporcional a la puntuació que rep.

Factors	Ponderació	Alternatives		
1-10	1-5	(5x5)	(7,5x7,5)	(10x10)
a) Quantitat de pilars	3	2	6	8
b) Reducció de la plaça d'aparcament	5	4	8	6
c) Facilitat d'implementació	4	10	5	10
d) Secció del pilar	4	10	7	4
Puntuació total		106	106	110

Taula 7: Comparació d'alternatives del disseny dels pilars

Al final, com totes les opcions tenen puntuacions semblants, hem decidit que la millor forma és personalitzar a mida del pàrquing els mòduls de pilars a posar en funció de les distàncies dissenyades entre places i carrils de circulació aprofitant totes les avantatges de cada mòdul.



II·l·lustració 20: Distribució de pilars

Considerarem una primera distribució dels pilars que sigui compatible amb tots els elements prèviament dissenyats, en aquest cas alternarem blocs de 10x10 amb blocs de 10x5 per tal de respectar el disseny actual.

Com tenim diferents distàncies entre pilars i no són totes iguals, es a dir, o tenim una distribució uniforme en tota la planta, haurem de veure quins pilars estaran sotmesos a més càrrega per poder calcular la secció del perfil que necessitarem tenint en compte diferents combinacions de càrrega fins que es compleixi la més desfavorable.

La següent taula realitzada ens ajudarà a saber quins pilars rebran més càrrega per unitat de longitud, es a dir, considerant només en dos dimensions l'estructura i així poder calcular el cas més desfavorable i extrapolar als altres casos més favorables.

La numeració de les caselles de la taula correspon als metres de profunditat que abastirà cada pilar a través del forjat considerant la carrega uniformement distribuïda.

5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m
10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m
7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m
7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m
7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m
7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m
7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m
7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m
7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m	7,5 m
10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m	10 m
5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m	5 m

Taula 8: Distribució de càrregues en els forjats en funció dels pilars

Això ens portarà a analitzar tres tipus de pòrtics diferents en els diferents casos de accions considerades, on haurèm de multiplicarem per 5, 7,5 o 10 per obtenir càrregues per unitat de longitud i poder analitzar els resultats.

9.4 Carregues o accions aplicades a l'estructura

Una vegada que tinguem el disseny haurèm de veure les demanades de càrregues a nivell estructural per començar a definir si el disseny realitzat es possible de dur a terme, es a dir, si és viable a nivell estructural.

Haurèm de complir amb les especificacions bàsiques a nivell estructural dictades en el document bàsic de seguretat estructural en accions de edificació [11] per a poder definir quines seran les càrregues que haurèm de considerar per complir el requisits de seguretat. Aquí a España, en el cas de l'acer s'ha adaptat l'Eurocodi 3 en el codi tècnic de la edificació com al DB-SE-A al que farem referència com a guia degut a que deixa bastanta llibertat per a poder definir el teu propi disseny però seguint la normativa vigent [12].

En el nostre disseny haurèm de tenir en compte que com el pàrquing disposarà de dues plantes, les càrregues de cada una de elles hauran de ser diferents, ja que haurèm de distingir el forjat de la coberta.

9.4.1 Càrregues degudes a accions permanents

En primer lloc, haurèm de tenir en compte les accions permanents de carregues on destaquem el pes propi, es a dir, el pes dels elements estructurals ja siguin, els tancaments i elements separadors, els envans, tot tipus de fusteries, revestiments (com paviments, guarnits, arrebossats, falsos sostres), farciments (com els de terres) i equip fix. Aquests pesos estaran definits en el promptuari de l'annex C del document DBSI [11] .

Aquest pas es considerarà com un procés iteratiu degut a que seleccionarem un perfil que tindrà un determinat pes i haurèm de calcular si estructuralment és viable. En el cas que ho sigui, haurèm de veure que un amb característiques inferiors que aquest compleixi i així fins a trobar l'últim que compleixi els requisits necessaris. Aquest procés es dur a terme per a no tenir un sobre dimensionament de l'estructura i poder abaratir els costos.

D'altre banda definirem una sèrie d'elements que no variaran amb el càlcul iteratiu que farem, es a dir, es mantindran constants durant el procés de càlcul.

Haurem de definir les característiques i dels materials que estaran fets els forjats i la coberta per aplicar les càrregues corresponents.

	Forjat inferior	Coberta amb forjat superior
Paviment	1,10 kN/m ²	No
Coberta invertida a la Catalana (pes en projecció horitzontal)	No	2,5 kN/m ²
Forjat	5 kN/m ²	5 kN/m ²
Plaques solars	No	0,12 kN/m ²
Metres lineals entre grup de pilars més desfavorable	10 m / 7,5 m / 5 m	10 m / 7,5 m / 5 m
Pes propi del perfil IPE 220	0,26 kN/m	0,26 kN/m
Càrrega total per unitat de longitud	(61,26 / 46,01 / 30,76) kN/m	(76,42 / 57,38 / 38,34) kN/m

Taula 9: Càrregues en els forjats

En aquest apartat no considerarem les accions del terreny ja que l'abast del nostre projecte no es centrarà en el terreny i les cimentacions, només ens interessa saber la viabilitat d'instal·lació a unes zones determinades de Catalunya on el terreny segurament serà diferent en funció de la zona i es necessitarà un estudi geològic i geotècnic de la ubicació on es desitgi instal·lar.

9.4.2 Càrregues degudes a accions variables

Accions de sobrecarrega:

Començarem analitzant les possibles accions variables per sobrecarrega de pes degut als vehicles i persones que podrien estar circulant o estacionades en el pàrquing. No podem aplicar cap coeficient de reducció de sobrecarrega degut a que no es contempla en la nostra categoria d'ús.

Categoría de uso		Subcategorías de uso		Carga uniforme [kN/m ²]	Carga concentrada [kN]
A	Zonas residenciales	A1	Viviendas y zonas de habitaciones en, hospitales y hoteles	2	2
		A2	Trasteros	3	2
B	Zonas administrativas			2	2
C	Zonas de acceso al público (con la excepción de las superficies pertenecientes a las categorías A, B, y D)	C1	Zonas con mesas y sillas	3	4
		C2	Zonas con asientos fijos	4	4
		C3	Zonas sin obstáculos que impidan el libre movimiento de las personas como vestíbulos de edificios públicos, administrativos, hoteles; salas de exposición en museos; etc.	5	4
		C4	Zonas destinadas a gimnasio u actividades físicas	5	7
		C5	Zonas de aglomeración (salas de conciertos, estadios, etc)	5	4
D	Zonas comerciales	D1	Locales comerciales	5	4
		D2	Supermercados, hipermercados o grandes superficies	5	7
E	Zonas de tráfico y de aparcamiento para vehículos ligeros (peso total < 30 kN)			2	20 ⁽¹⁾
F	Cubiertas transitables accesibles sólo privadamente ⁽²⁾			1	2
G	Cubiertas accesibles únicamente para conservación ⁽³⁾	G1 ⁽⁷⁾	Cubiertas con inclinación inferior a 20°	1 ⁽⁴⁾⁽⁶⁾	2
			Cubiertas ligeras sobre correas (sin forjado) ⁽⁵⁾	0,4 ⁽⁴⁾	1
		G2	Cubiertas con inclinación superior a 40°	0	2

Taula 10: Valors característics de les sobrecarregues en ús. Extret de: [11]

Haurem d'analitzar les dues plantes:

	Forjat inferior	Coberta amb forjat superior
Categoria d'ús	E	G1
Càrrega uniforme	2 kN/m ²	1 kN/m ²
Metres lineals entre grup de pilars més desfavorable	10 m / 7,5 m / 5 m	10 m / 7,5 m / 5 m
Càrrega total per unitat de longitud	(20 / 15 / 10) kN/m	(10 / 7,5 / 5) kN/m

Taula 11: Categoria d'ús dels forjats i càrregues equivalents

Accions sobre baranes i elements divisoris:

També haurem d'avaluar les accions sobre baranes i elements divisoris, on l'estructura pròpia d'aquets elements haurà de suportar els següents valors de força horitzontal en funció de la categoria en que es classifiqui. Em aquest cas ens situarem en el rang de 1,6 kN/m. Aquest dimensionament el tindrem en compte més endavant ja que aprofitarem els pilars de l'estructura per a poder posar aquets elements per evitar que en el cas de xoc, l'estructura pateixi grans deformacions. Ho tindrem en compte en l'apartat de càrregues degudes a accions accidentals.

Categoría de uso	Fuerza horizontal [kN/m]
C5	3,0
C3, C4, E, F	1,6
Resto de los casos	0,8

Taula 12: Accions sobre baranes i altre elements divisoris. Extret de: [11]

Accions del vent:

Un altre factor extern a considerar que serà variable és el vent, en general com a força perpendicular a la superfície de cada punt exposat o com a pressió estàtica (q_e) que podem definir de la següent forma.

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Equació - 6: Càrrega deguda a l'acció del vent

Obtindrem dos resultats diferents degut a que podem tenir vent que faci una força de succió o de pressió, tots els càlculs pertinents estan en els annexos a l'apartat de (Accions degudes al vent).

$$q_{e1} = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,52 \cdot 2 \cdot 1,3 = 1,352 \text{ kN/m}^2$$

Equació - 7: Càrrega de pressió per unitat de superfície

$$q_{e2} = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,52 \cdot 2 \cdot (-1,4) = -1,456 \text{ kN/m}^2$$

Equació - 8: Càrrega de succió per unitat de superfície

	Forjat inferior	Coberta amb forjat superior
Càrrega de pressió	1,352 kN/m ²	1,352 kN/m ²
Càrrega de succió	-1,456 kN/m ²	-1,456 kN/m ²
Metres lineals entre grup de pilars més desfavorable	10 m / 7,5 m / 5 m	10 m / 7,5 m / 5 m
Càrrega de pressió per unitat de longitud	(13,52 / 10,14 / 6,76) kN/m	(13,52 / 10,14 / 6,76) kN/m
Càrrega de succió per unitat de longitud	(-14,56 / -10,92 / -7,28) kN/m	(-14,56 / -10,92 / -7,28) kN/m

Taula 13: Càrregues equivalents degudes al vent

Accions tèrmiques:

Pel que respecta a les accions tèrmiques en el cas del formigó i l'acer com és en el nostre cas, si disposem de juntes de dilatació sense que existeixin elements de més de 40 m de longitud continus no caldrà considerar els efectes tèrmics en l'estructura ja siguin de dilatació i contracció en funció de l'època de l'any. Això ens farà considerar la opció de col·locar aquestes juntes.

Accions de la neu:

Podem considerar en localitats per sota dels 1000 m una càrrega de neu de 1,0 kN/m² sobre la coberta. Si utilitzéssim la formula aplicant el coeficient de forma amb cobertes amb una inclinació menor a 30° com serà el nostre cas, si situem el pàrquing per exemple a Sabadell, la càrrega de neu a considerar seria de

0,5kN/m². Per tant ens quedarem amb el valor més desfavorable per tal d'estar del costat de la seguretat. Haurem de calcular la càrrega per unitat de longitud.

	Forjat inferior	Coberta amb forjat superior
Càrrega de neu	0 kN/m ²	1 kN/m ²
Metres lineals entre grup de pilars més desfavorable	10 m / 7,5 m / 5 m	10 m / 7,5 m / 5 m
Càrrega de neu per unitat de longitud	(10 / 7,5 / 5) kN/m	(10 / 7,5 / 5) kN/m

Taula 14: Càrrega de neu equivalent

9.4.3 Càrregues degudes a accions accidentals

Accions sísmiques:

Regulades en la NSCE part general de l'edificació(en funció del terreny), en el nostre estudi no les considerarem. Degut a que la zona de Catalunya no està sotmesa a sismes i a part al utilitzar l'acer com element estructural dona una bona resposta a aquest tipus de accions externes gràcies a la seva ductilitat comparada amb construccions realitzades amb formigó.

Accions d'incendi:

Com aquest apartat ja l'hem analitzat prèviament no el contemplarem degut a que l'accés per als bombers els considerarem en les vies d'aproximació i accessibilitat de l'entorn a l'estructura i no contemplariem l'entrada d'un vehicle de bombers al recinte interior degut a que el pàrquing no supera els 9 m d'alçada i ja que no ha estat sobredimensionat per altres casos.

Accions d'impacte:

Els valors de càlcul de les forces estàtiques equivalents degudes a l'impacte de vehicles de fins a 30 kN de pes total, són de 50 kN en la direcció paral·lela la via

i de 25 kN en la direcció perpendicular, no actuant simultàniament. La força equivalent d'impacte es considerarà que actua sobre un pla horitzontal de 0,25 m d'altura i 1,5 m d'amplada, però com en el nostre cas l'amplada del pilar serà més petita, s'haurà d'aplicar la força a una altura de 0,6 m per sobre del nivell de rodament.

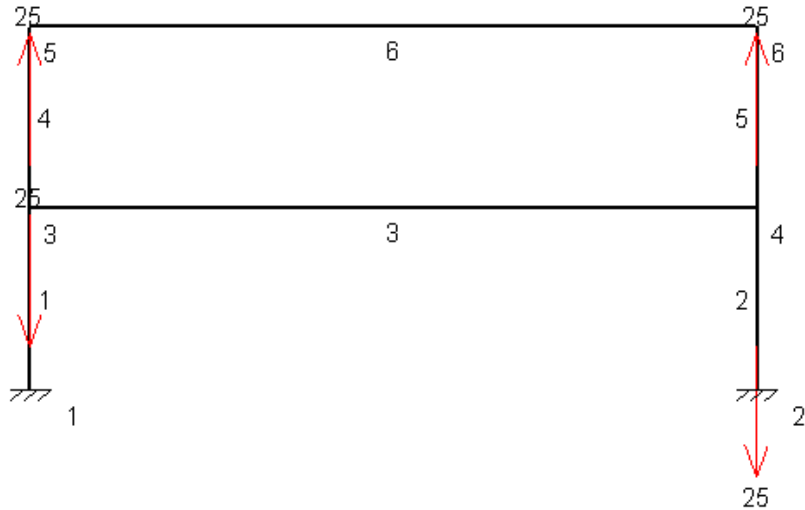
Ala següent il·lustració podem veure on s'aplicaria la força horitzontal equivalent en els nostres mòduls de dos pilars i cap a on actuarien les forces en el cas d'haver un xoc a cada planta i a la vegada, cosa que estadísticament no succeirà i per tant analitzarem no simultàniament.



Il·lustració 21: Força equivalent perpendicular a la línia d'impacte (força en kN)

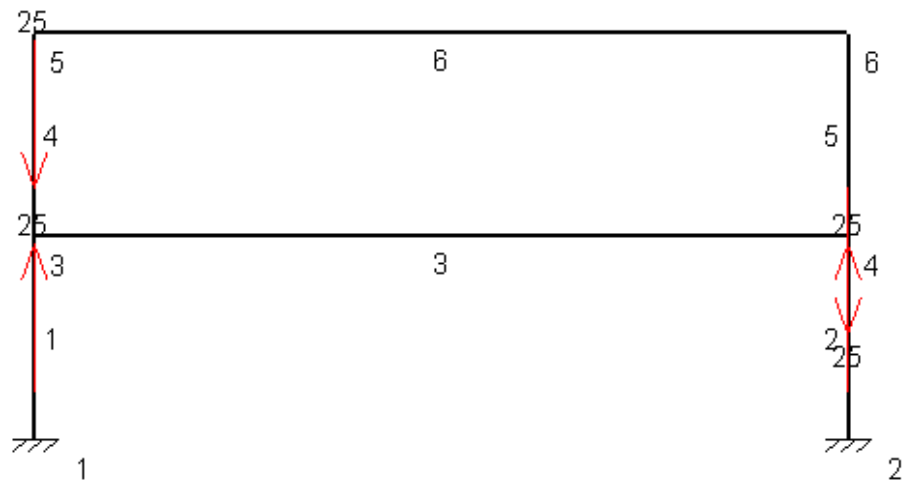
En el cas de la força equivalent perpendicular a la línia d'impacte a l'estructura, sabem el seu mòdul i direcció però no el seu sentit, es a dir, haurem de considerar dos casos diferents, tenir una força de compressió o de tracció equivalent. En les següents il·lustracions analitzarem els dos casos.

Cas de forces equivalents que generarien tracció als pilars:



Il·lustració 22: Forces d'impacte que generen tracció als pilars (força en kN)

Cas de forces equivalents que generarien compressió als pilars:



Il·lustració 23: Forces d'impacte que generen compressió als pilars (força en kN)

9.4.4 Combinació d'accions o càrregues

Ara veurem en funció del pòrtic les càrregues que haurem de considerar i analitzar si els resultats distants molt els uns dels altres.

Pòrtic tipus 1 (10 metres):

	Tipus	Direcció	Forjat inferior	Forjat superior amb coberta
Permanents		Vertical	61,26 kN/m	76,42 kN/m
Variables	Sobrecàrrega	Vertical	20 kN/m	10 kN/m
	Vent	Vertical	Pressió: 13,52 kN/m Succió: -14,56 kN/m	Pressió: 13,52 kN/m Succió: -14,56 kN/m
	Neu	Vertical	No	10 kN/m
Accidentals	Impacte	Vertical	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)
		Horitzontal	50 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)	50 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)

Taula 15: Combinació d'accions als pòrtics tipus 1

Pòrtic tipus 2 (7,5 metres):

	Tipus	Direcció	Forjat inferior	Forjat superior amb coberta
Permanents		Vertical	46,01 kN/m	57,38 kN/m
Variables	Sobrecàrrega	Vertical	15 kN/m	7,5 kN/m
	Vent	Vertical	Pressió: 10,14 kN/m Succió: -10,92 kN/m	Pressió: 10,14 kN/m Succió: -10,92 kN/m
	Neu	Vertical	No	7,5 kN/m
Accidentals	Impacte	Vertical	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)
		Horitzontal	50 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)	50 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)

Taula 16: Combinació d'accions als pòrtics tipus 2

Pòrtic tipus 3 (5 metres):

	Tipus	Direcció	Forjat inferior	Forjat superior amb coberta
Permanents		Vertical	30,76 kN/m	38,34 kN/m
Variables	Sobrecàrrega	Vertical	10 kN/m	5 kN/m
	Vent	Vertical	Pressió: 6,76 kN/m Succió: -7,28 kN/m	Pressió: 6,76 kN/m Succió: -7,28 kN/m
	Neu	Vertical	No	5 kN/m
Accidentals	Impacte	Vertical	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)
		Horitzontal	50 kN (aplicada a 0,6 m de la zona de rodament)	50 kN (aplicada a 0,6 m de la zona de rodament)

Taula 17: Combinació d'accions als pòrtics tipus 3

Una vegada conegudes totes les accions que suportarà l'estructura haurem de veure els diferents casos i combinacions d'aquestes aplicant les corresponents ponderacions en funció de la combinació que estiguem realitzant, ja que en un mateix dia serà molt improbable que estigui nevant molt, amb molt de vent, hi

hagi canvis tèrmics molt grans. Llavors al DBSE trobarem tots aquests valors i les fórmules a aplicar que veurem en el següent punt d'anàlisi i càlculs estructurals.

10. Càlculs estructurals

Per poder començar a realitzar els càlculs estructurals, haurem de veure els requisits necessaris al DBSE-A que fa referència a la seguretat estructural d'una estructura d'acer i al DBSE general que fa referència als estats límits últims i de servei.

Per a calcular la nostra estructura haurem de fer una sèrie de verificacions d'acord amb el DBSE 3.2 relatives a l'estabilitat i resistència com a ELU (estat límit últims) i a l'aptitud de servei com a ELS (estat límit de servei).

Després de realitzar el dimensionament, haurem de veure el comportament global de l'estructura i els desplaçaments dels nusos crítics. Una manera de realitzar aquesta comprovació serà realitzar algunes simulacions amb el Mefi que és un programa acadèmic desenvolupat per al càlcul estructural basat en el mètode de desplaçaments idoni per al càlcul per a ordinadors. Aquest mètode de càlcul segueix els següents passos:

- 1→ Separar l'estructura en les seves barres constituents.
- 2→ Mitjançant les equacions mixtes, s'obtenen els esforços en funció dels desplaçaments.
- 3→ Finalment, es substitueix els esforços en les condicions d'equilibri, s'arriba a un sistema d'equacions d'equilibri amb els desplaçaments com a incògnites.

Hem realitzat un petit anàlisi de com platejaríem el problema de forma local en un dels pòrtics per veure les connectivitats entre barres i veure la rigidesa de cada matriu dintre de la general.

10.1 Estats límits últims (ELU)

Aquestes condicions s'analitzaran per a la verificació de la capacitat portant de l'estructura considerant els estats últims d'estabilitat i resistència que trobarem en el DBSE 4.2, on també trobarem el efecte de les càrregues per a cada

dimensionament en funció de les combinacions indicades en cada cas i aplicant els coeficients determinats.

Utilitzarem la verificació basada en coeficients parcials:

10.1.1 Estabilitat

Es considera que hi ha prou estabilitat del conjunt de l'edifici o d'una part independent del mateix, si per a totes les situacions de dimensionat pertinents, es compleix la següent condició que podem veure a continuació.

$$E_{d,dst} \leq E_{d,stb}$$

Equació - 9: Condició d'estabilitat

$E_{d,dst}$: valor de càlcul dels efectes de les accions desestabilitzadores.

$E_{d,stb}$: valor de càlcul dels efectes de les accions estabilitzadores.

10.1.2 Resistència

Es considera que hi ha suficient resistència de l'estructura portant, d'un element estructural, secció, punt o d'una unió entre elements, si per a totes les situacions de dimensionat pertinents, es compleix la següent condició que podem veure a continuació.

$$E_d \leq R_d$$

Equació - 10: Condició de resistència

E_d : valor de càlcul dels efectes de les accions.

R_d : valor de càlcul de la resistència corresponent.

10.1.3 Combinació d'accions

Tenim tres tipus de d'efectes d'accions però nosaltres només ens centrarem en dos degut a que el cas de sisme no el considerarem. Durant aquest procés de càlcul haurem d'utilitzar les següents dues taules per obtenir els diferents coeficients necessaris.

Tabla 4.1 Coeficientes parciales de seguridad (γ) para las acciones

Tipo de verificación ⁽¹⁾	Tipo de acción	Situación persistente o transitoria	
		desfavorable	favorable
Resistencia	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,35	0,80
	Empuje del terreno	1,35	0,70
	Presión del agua	1,20	0,90
	Variable	1,50	0
Estabilidad		desestabilizadora	estabilizadora
	Permanente		
	Peso propio, peso del terreno	1,10	0,90
	Empuje del terreno	1,35	0,80
	Presión del agua	1,05	0,95
	Variable	1,50	0

⁽¹⁾ Los coeficientes correspondientes a la verificación de la resistencia del terreno se establecen en el DB-SE-C

Taula 18: Coeficients parcials de seguretat per les accions. Extret de: [13]

Tabla 4.2 Coeficientes de simultaneidad (ψ)

	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Sobrecarga superficial de uso (Categorías según DB-SE-AE)			
• Zonas residenciales (Categoría A)	0,7	0,5	0,3
• Zonas administrativas (Categoría B)	0,7	0,5	0,3
• Zonas destinadas al público (Categoría C)	0,7	0,7	0,6
• Zonas comerciales (Categoría D)	0,7	0,7	0,6
• Zonas de tráfico y de aparcamiento de vehículos ligeros con un peso total inferior a 30 kN (Categoría E)	0,7	0,7	0,6
• Cubiertas transitables (Categoría F)		⁽¹⁾	
• Cubiertas accesibles únicamente para mantenimiento (Categoría G)	0	0	0
Nieve			
• para altitudes > 1000 m	0,7	0,5	0,2
• para altitudes ≤ 1000 m	0,5	0,2	0
Viento	0,6	0,5	0
Temperatura	0,6	0,5	0
Acciones variables del terreno	0,7	0,7	0,7

⁽¹⁾ En las cubiertas transitables, se adoptarán los valores correspondientes al uso desde el que se accede.

Taula 19: Coeficients de simultaneïtat. Extret de: [13]

10.1.3.1 Accions corresponents a una situació persistent o transitòria:

Com podem veure a continuació, utilitzarem aquesta fórmula que és més senzilla del que sembla. Tenim tres termes diferenciats que es sumen i analitzarem un per un.

El primer, correspon a l'acció de càrregues permanents amb els seus corresponents coeficients de seguretat per estar del costat de la seguretat. Dintre d'aquest terme, la segona part on apareix la P , la depreciarem ja que no tenim elements pretensats en la nostra estructura.

El segon, correspon a una de les càrregues variables que actuen sobre l'estructura, però que en aquest cas la considerem com a principal càrrega variable donant-li un major pes.

El tercer terme, correspon a la resta de càrregues variables que tinguem i tindran la particularitat de tenir un coeficient de simultaneïtat degut a que és difícil que el dia de més neu tinguem el dia de més vent o calor i per tant s'apliquen per no sobredimensionar l'estructura.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Equació - 11: Accions corresponents a una situació persistent o transitòria (ELU). Extret de: [10]

10.1.3.2 Accions corresponents a una situació extraordinària:

Com podem veure a continuació utilitzarem una fórmula que és molt semblant a la utilitzada en el cas d'accions persistents, però encloent situacions especials com les accidentals.

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_P \cdot P + A_d + \gamma_{Q,1} \cdot \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Equació - 12: Accions corresponent a situació extraordinària (ELU). Extret de: [10]

En aquest cas, el xoc es produiria en els pilars i el terra absorbiria els esforços. No serà un limitant per a les bigues degut a que no afectarà a aquestes. L'hauré de considerar aquesta força en la resistència dels pilars a forces transversals a aquestes.

Per una altre banda, si analitzem l'expressió ens adonem que és casi igual que la de l'apartat anterior corresponent a una acció persistent o transitòria degut que només varien els coeficients de simultaneïtat que tal com podem veure en la taula per al cas de situació extraordinària són menors i per tant la càrrega final equivalent serà més petita. Això fa que qualsevol valor d'aquest apartat en comparació amb l'equivalent a l'anterior sigui inferior i per tant no el més restrictiu. Aquest anàlisi ens ha fet estalviar-nos molts càlculs que realment no eren significatius.

10.1.3.3 Resultats de les accions

Finalment haurem de veure el valor de les càrregues per unitat de longitud més elevat per a cada forjat i tipus de pòrtic.

	Pòrtic tipus 1	Pòrtic tipus 2	Pòrtic tipus 3
Forjat superior amb coberta	137,84 kN/m	109,10 kN/m	76,59 kN/m
Forjat inferior	124,87 kN/m	93,74 kN/m	62,61 kN/m

Taula 20: Combinació de càrregues ELU més desfavorable

Els dos valors màxims corresponen a la combinació 1 de càrrega variable principal la sobrecàrrega. Tots els càlculs realitzats estan en el annex corresponent a estats límits últims.

Com a conclusió, podem veure que la diferència entre els pòrtics s'acosta als 30 kN/m d'un tipus a un altre. La majoria de pòrtics són de tipus 1 i 2 on els de tipus 3 només el tindrem als dos extrems de l'estructura. L'objectiu que volem es tenir tots els pòrtics iguals independentment de la classificació que se'ls atribueixi per la càrrega que reben degut a que l'homogeneïtzació de totes les bigues facilitarà el procés constructiu reduint costos i possibles errors. Per tant, triarem com a càrrega limitant de resistència un valor de 140 kN/m per a totes les bigues, i a partir d'ara tots els pòrtics seran del mateix tipus. Aquest fet ens farà estar del costat de la seguretat.

10.2 Estats límits de servei (ELS)

Haurem de calcular si l'estructura té un comportament adequat en front a les deformacions i vibracions per al seu ús corresponent sense arribar als límits establerts per el DBSE 4.3, on per a cada situació de dimensionat obtindrem els valors de càrrega en funció de les regles de combinació. A més a més, per al que fa a les propietats elàstiques de l'acer, s'utilitzaran valors mitjans.

Per a la seva verificació, es considera que hi ha un comportament adequat, en relació amb les deformacions, les vibracions o el deteriorament, si es compleix, per a les situacions de dimensionat pertinents, que l'efecte de les accions no arriba al valor límit admissible establert per a aquest efecte.

Per al dimensionament haurem de tenir en compte diferents casos de combinacions que estableix la normativa, on en aquest cas en diferència amb el ELU, no tindrem coeficients de seguretat degut a que aquest estat no és tant limitant i crític però que ha de garantir una comoditat per als usuaris.

10.2.1 Accions de curta duració que poden resultar irreversibles

Com podem veure a continuació, utilitzarem aquesta fórmula que és més senzilla del que sembla. Tenim quatre termes diferenciats que es sumen i analitzarem un per un.

El primer correspon al valor característic del sumatori de totes les càrregues permanents.

El segon correspon al pretensat que en el nostre cas no el considerarem degut a que la nostra estructura no tindrà elements d'aquest tipus.

El tercer correspon a una de les accions variables que considerarem com a principal acció variable i on s'hauran d'anar analitzant totes les accions variables possibles per a trobar el cas més desfavorable.

L'últim correspon a la resta d'accions variables que no són principals en una determinada combinació i que se'ls hi haurà d'aplicar un coeficient de simultaneïtat degut a que estadísticament no seria real considerar que un dia succeeixin les pitjors condicions i acabariem sobredimensionant l'estructura.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

Equació - 13: Accions de curta duració (ELS). Extret de: [10]

10.2.2 Accions de curta duració que poden resultar reversibles

En comparació al cas irreversible anterior, tindrem en compte els mateixos valors de les càrregues però únic que canviarà serà la fórmula que tindrà els mateixos termes però els coeficients a aplicar seran diferents mantenint les mateixes combinacions que en els casos anteriors. On el coeficient de la càrrega variable principal serà amb un valor freqüent i la resta amb coeficients per a valors quasi permanents.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Equació - 14: Accions de curta duració que poden resultar reversibles (ELS). Extret de [10]

10.2.3 Accions de llarga duració

En aquest apartat determinarem un cas especial amb càrregues anomenades casi permanents i on només tindrem una única combinació on considerarem totes les càrregues a la vegada.

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + P + \sum_{i \geq 1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,i}$$

Equació - 15: Accions de llarga duració (ELS). Extret de: [10]

10.2.4 Resultats de les accions

Com podem veure els casos més desfavorables per al forjat inferior i el forjat superior amb coberta, són inferiors als valors calculats per a estat límit últim, i per tant, si dimensionem l'estructura per l'estat ELU, complirem amb el ELS.

Per a calcular la fletxa necessitem els valors límits de la combinació de càrregues en els estats límits últims. En aquest cas el cas més desfavorable vindrà donat en la combinació d'accions de curta duració que poden resultar irreversibles amb com a càrrega principal variable la sobrecàrrega.

	Pòrtic tipus 1	Pòrtic tipus 2	Pòrtic tipus 3
Forjat superior amb coberta	99,53 kN/m	74,71 kN/m	49,90 kN/m
Forjat inferior	89,37 kN/m	67,09 kN/m	44,82 kN/m

Taula 21: Combinació de càrregues en ELS més desfavorable

Prendrem un valor aproximat en els dos forjats de 100 kN/m per unificar els càlculs i estar del costat de la seguretat. Tots els càlculs estan en el annex corresponent al estat de límits en servei.

10.2.5 Deformacions verticals o fletxes

Considerarem un anàlisi on només es consideraran les deformacions que es puguin donar a terme després de la posada en servei de l'edifici on la fletxa relativa haurà de ser menor a 1/300. Com tenim una llum de 5 metres constant en totes les bigues ens servirà aquest càlcul per a tota l'estructura.

$$\delta \leq \frac{L}{300} = \frac{500 \text{ cm}}{300} = 1,67 \text{ cm}$$

Equació - 16: Comprovació a fletxa

Analitzarem la inèrcia necessària per als dos cassos possibles d'unions en els nusos, biga simple recolzada i biga simple encastada.

$$f = \frac{1}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I}$$

Equació - 17: Fletxa de biga hiperestàtica

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I}$$

Equació - 18: Fletxa de biga isostàtica

Com podem veure, en el nostre cas la inèrcia necessari serà de cinc vegades menor que en el cas isostàtic, cosa que ens permetrà utilitzar un perfil més petit

a part de ser segurament el factor limitant a la hora d'escollir el perfil degut a que podem triar diferents tipus d'acer en funció de la residència que vulguem superar. La inèrcia necessària mínima que hauran de tenir les bigues serà la següent.

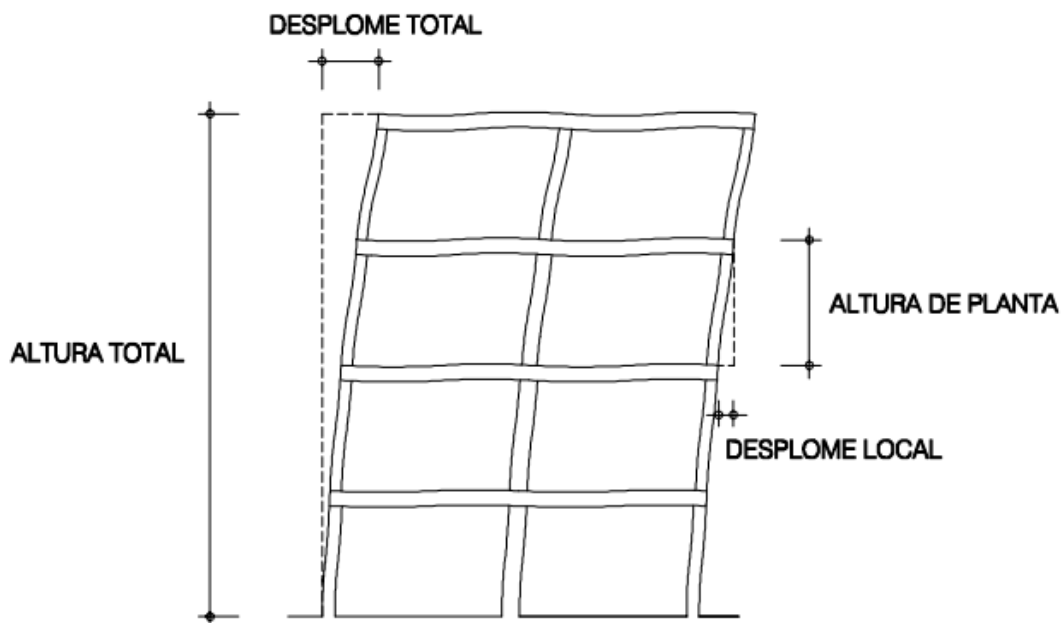
$$I \geq 46411 \text{ cm}^4$$

Equació - 19: Condició final d'inèrcia de les bigues

Més endavant podrem veure en el apartat de forjat mixt d'on extreiem el valor de la inèrcia del perfil IPE 360 amb col·laboració de la llosa de formigó, que ens donarà una inèrcia total de 48147 cm⁴ superior al valor mínim de 46411 cm⁴.

10.2.6 Deformacions horitzontals

Quan es considera l'aparença de la obra, es permet que la estructura global tingui suficient rigidesa lateral si en front a qualsevol combinació d'accions casi permanents, la caiguda total sigui menor a 1/500, segons dicta el DB-SE. Al tenir una estructura no gaire esvelta la caiguda local serà casi la mateixa que la total i per tant si complim la total que és més restrictiva, estarem complint la local.

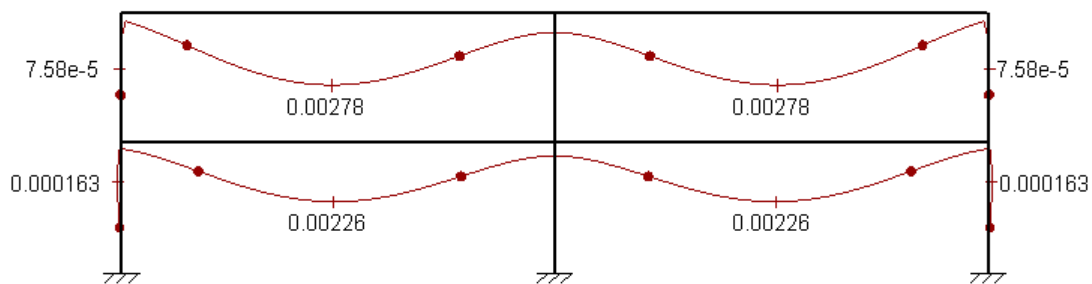


Il·lustració 24: Caiguda total i local en desplaçaments horitzontals. Extret de: [13]

En aquest cas l'element estructural a avaluar seran els pilars on haurem de conèixer aproximadament la alçada que tindran i quin perfil d'acer utilitzarem per saber la inèrcia i poder comprovar l'esveltesa global de l'edifici. Realitzarem una simulació amb el Mefi per veure si amb les bigues i pilars dimensionats compleixen els límits de desplaçaments laterals.

$$\text{deformació horitzontal} \leq \frac{1}{500} = 0,002$$

Equació - 20: Condició límit de deformacions horitzontals



Il·lustració 25: Deformacions horitzontals en ELS

$$0,0000758 \leq \frac{1}{500} = 0,002$$

Equació - 21: Comprovació límit de deformacions horitzontals pilar esquerra

$$0,000163 \leq \frac{1}{500} = 0,002$$

Equació - 22: Comprovació límit de deformacions horitzontals pilar dret

Per tant si complim la condició de deformacions laterals o vinclament lateral podem dir que l'estructura serà suficientment estable per no generar problemes als usuaris.

Aquesta comprovació la hem realitzat un cop coneixent els pilars i bigues escollits per a formar part de la estructura on explicarem en els següents apartats els dimensionaments i podrem trobar tots els càlculs realitzats en els annexos.

10.2.7 Vibracions

En el nostre projecte el anàlisis de vibracions no entrarà en el abast considerat inicialment degut a que requereix de molts càlculs. Com estem avaluant la viabilitat d'un projecte a l'àrea de Catalunya, al ser una zona amb molt poca activitat sísmica podem considerar que en el cas de haver un sisme l'estructura, al ser l'estructura d'acer podria absorbir perfectament les vibracions sense cap tipus de problema.

10.3 Unions entre elements estructurals

Aquest serà un punt crític durant el dimensionament ja que es projectaran de forma coherent en el conjunt de l'estructura, el que suposa un comportament acord amb les hipòtesi suposades en la anàlisis global d'aquesta.

La part que analitzarem serà la unió entre bigues i pilars per a poder després veure el comportament de l'estructura en funció de com es transmetin aquests esforços.

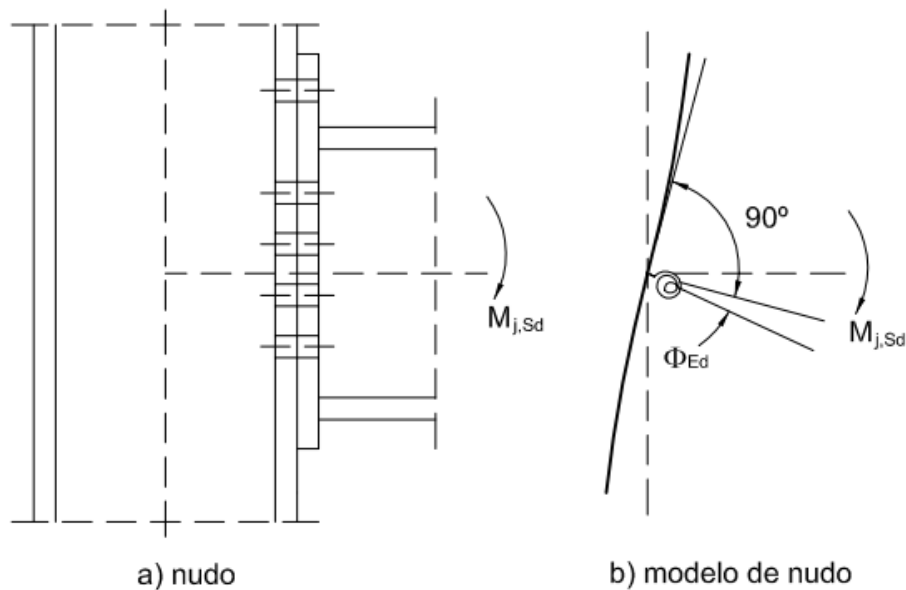
Normalment, les unions es classifiquen en funció de diferents característiques que haurem d'analitzar per separat com per exemple, en funció de la seva rigidesa, resistència, capacitat de rotació i d'altres més.

Segons el DB-SE-A, les unions entre elements d'acer es comprovaran a resistència. A més es comprovarà la capacitat de rotació de les unions en què es prevegi la formació de ròtules plàstiques en l'anàlisi global. En el nostre cas n realitzarem cap càlcul ni comprovació degut a que dista del nostre abast del projecte i és un tema que té certa dificultat i que es necessita d'uns coneixements previs que s'haurien d'adquirir en màsters relacionats amb estructures metàl·liques. Per tant només definirem el tipus de enllaç que tindrem entre elements i com es realitzarà .

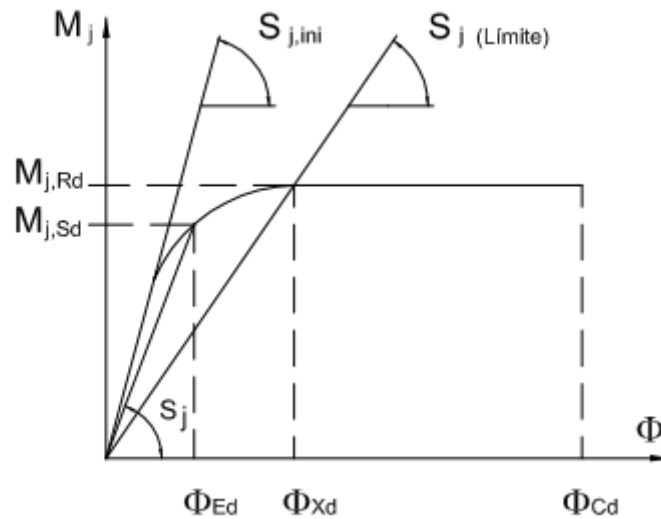
Llavors tindrem diferents opcions d'unions en funció de la capacitat de rotació del nus i del moment que pugui transmetre. En la següent imatge podrem veure el comportament en funció del tipus d'enllaç, on podem tenir dos casos extrems, el emportament perfecte i la formació d'una articulació. Realment aquest dos

casos extrems casi mai es donaran i casi sempre tindrem un cas entremig. Per tant en el següent apartat del dimensionament de la biga analitzarem el cas hiperestàtic i isostàtic per veure quina situació tindrem com a crítica dimensionar a partir d'aquesta.

Classificarem en tres grups els models de les unions entre elements metàl·lics per tal de poder distingir-les i poder-nos situar en a mes favorable per a nostre dimensionament.

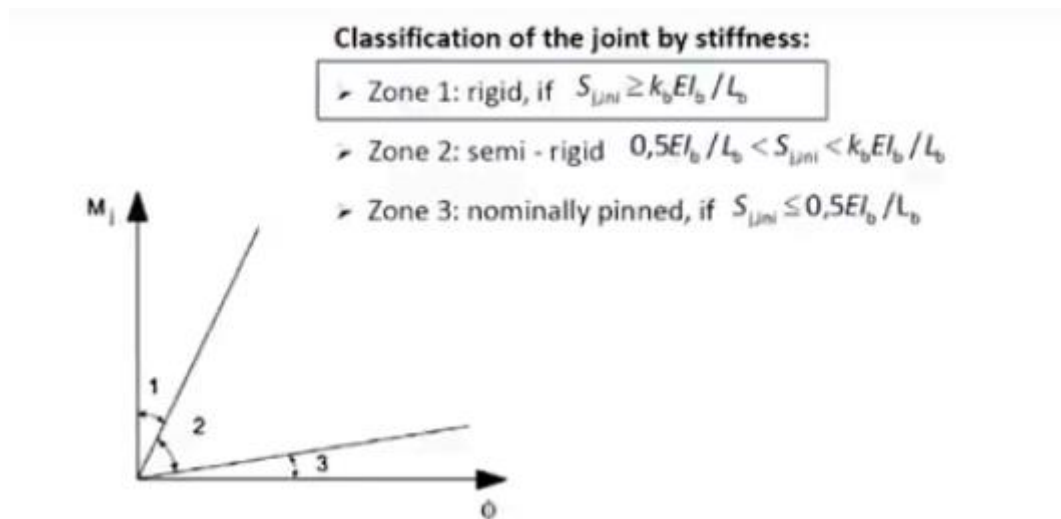


Il·lustració 26: Nus i model de nus en unions metàl·liques. Extret de: [12]



Il·lustració 27: Model de les unions. Extret de: [12]

En la següent imatge podem veure en les tres zones que podem distingir en funció del comportament del nus.

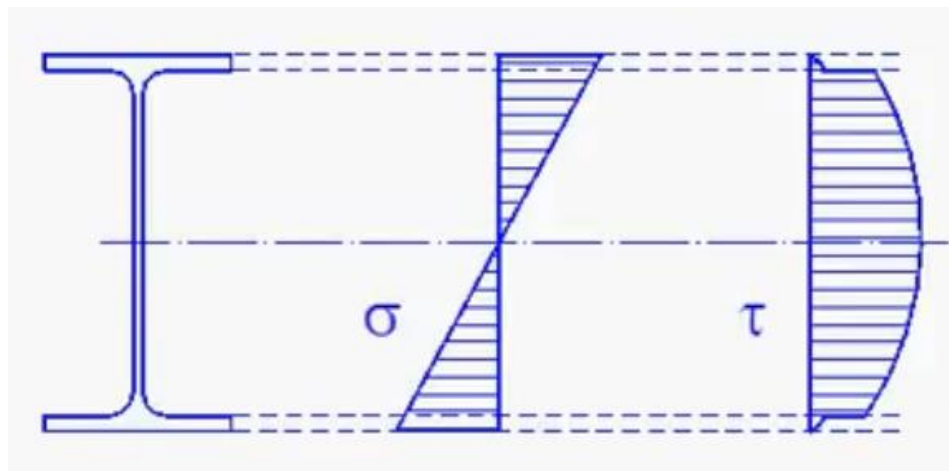


Il·lustració 28: Classificació comportament dels nusos. Extret de: [14]

La zona 1 rígida o encastada, podrà suportar fins a un 75% del moment d'encastament màxim, tenim el cas entremig de unió semirígida mentre que en l'altre cas extrem d'articulació només podrà fer-ho fins a un 25% del màxim. Això ens portarà a intentar-nos situar en la zona 1 degut que el nostre objectiu

és obtenir un condició d'encastament per tal de tenir la mínima fletxa possible i per tant intentar reduir al màxim la inèrcia necessària de les bigues.

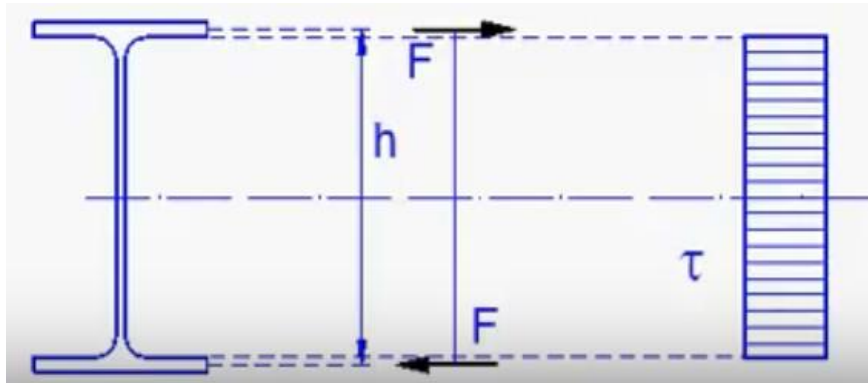
Per realitzar aquest tipus d'unió haurem de saber com unir els perfils per tal d'obtenir aquest comportament. A continuació veurem uns models simplificats per tal de conèixer la millor manera de realitzar la unió, però primer de tot veurem com estaran distribuïts els esforços en la nostra biga sotmesa a flexió simple.



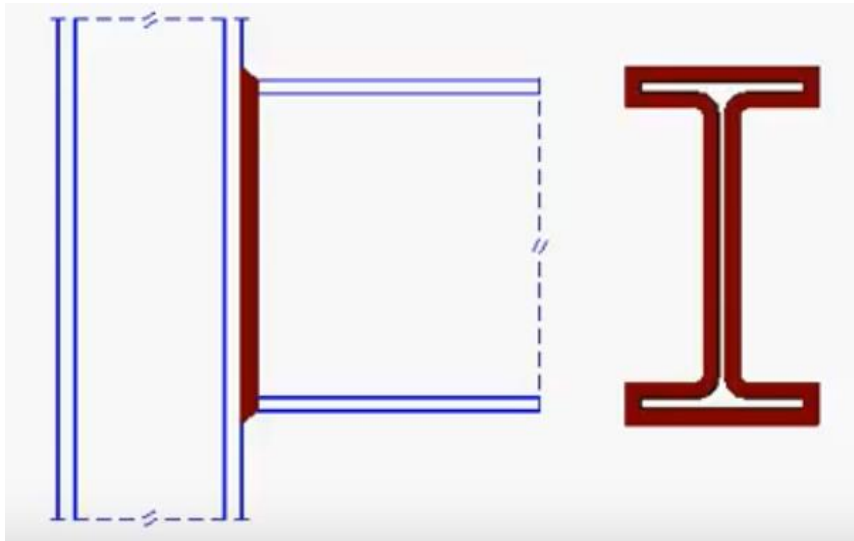
Il·lustració 29: Esforços en biga a flexió simple. Extret de:[15]

La distribució dels esforços tallants seguiran el teorema de Colignon mentre que les tensions degut al flector en règim elàstic seguiran la llei de Navier.

Arribats a aquest punt, es pot arribar a un model simplificat substituint els moments substituïts per un parell de forces equivalents en les ales i reduir les tensions tangencials a la forma de l'ànima del perfil. Això ens donarà la llibertat de poder transmetre el tipus d'esforç que vulguem en funció de les unions que realitzarem, es a dir, si volem transmetre un moment flector haurem d'unir les ales i si volem transmetre un esforç tallant hauríem d'unir l'ànima. En el nostre cas com volem tenir una unió totalment encastada, l'objectiu serà transmetre els tallants unint les ànimes de les bigues als pilars i unint també les ales de les bigues als pilars. Es pot utilitzar dos mètodes d'unió, amb cargols o per soldadura. Nosaltres triarem realitzar-la amb cargols que és la que normalment s'utilitza més i en un futur ens permetria desmuntar de manera més ràpida l'estructura.

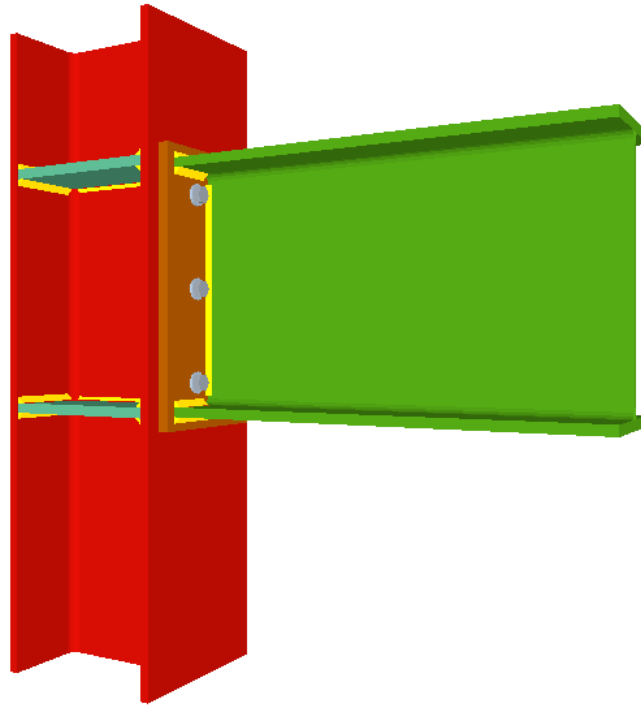


Il·lustració 30: Model d'esforços equivalent. Extret de:[15]

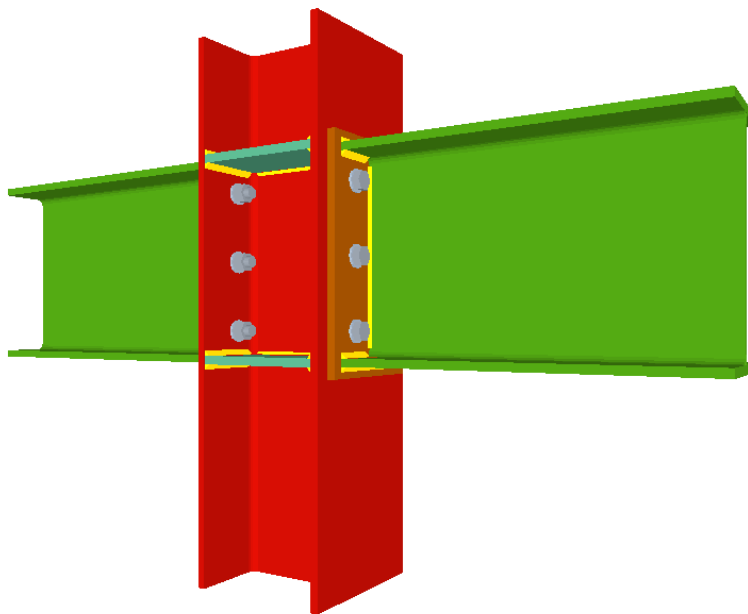


Il·lustració 31: Unió rígida entre pilar i biga. Extret de:[15]

La unió tal com hem dit anteriorment, realitzarem amb cargols de igual manera com podrem veure en les següents imatges, on tindrem el cas del pilars extrems i de la resta que tindran units a ells dues bigues.



Il·lustració 32: Unió rígida entre pilar extrem i biga. Extret de: [16]



Il·lustració 33: Unió rígida entre pilar i biga. Extret de: [16]

10.4 Càlcul de les bigues

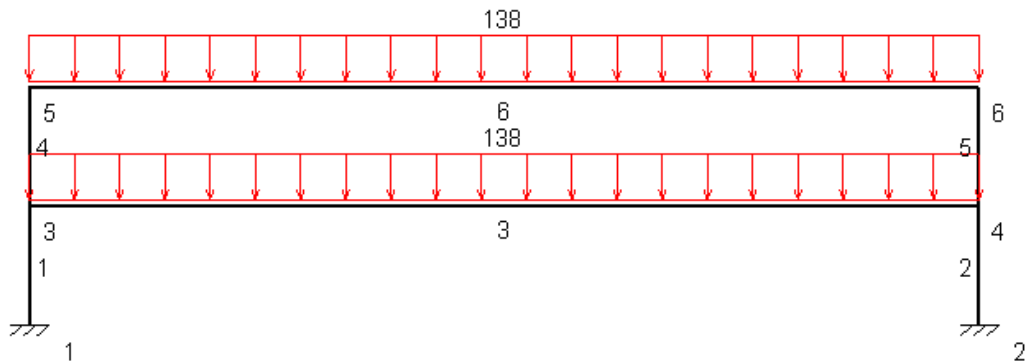
Analitzarem per una part les bigues i per una altre els pilars, on hauran de verificar-se diversos estats de tensions a que poden estar sotmesos. Utilitzarem com a accions la més desfavorable de les calculades en els estats límits últims. Haurem de diferenciar la càrrega per a forjat inferior i superior degut a que el valor era diferent, malgrat això, utilitzarem el valor més elevat per a dimensionar els dos ja que la diferència no es molt gran i així podrem utilitzar el mateix tipus de bigues per a tota l'estructura cosa que farà més senzilla la seva construcció i probablement abaratirà els costos finals.

Tindrem en compte diverses consideracions amb l'acer, on una d'elles serà els diferents coeficients de seguretat que haurem d'aplicar al càlcul en funció de les comprovacions que estiguem realitzant. En la següent il·lustració podrem analitzar tots els possibles valors que pot prendre.

- $\gamma_{M0} = 1,05$	coeficiente parcial de seguridad relativo a la plastificación del material.
- $\gamma_{M1} = 1,05$	coeficiente parcial de seguridad relativo a los fenómenos de inestabilidad.
- $\gamma_{M2} = 1,25$	coeficiente parcial de seguridad relativo a la resistencia última del material o sección, y a la resistencia de los medios de unión.
- $\gamma_{M3} = 1,1$	coeficiente parcial para la resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados en E.L.S.
$\gamma_{M3} = 1,25$	coeficiente parcial para la resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados en E.L.U.
$\gamma_{M3} = 1,4$	coeficiente parcial para la resistencia al deslizamiento de uniones con tornillos pretensados y agujeros rasgados o con sobremedida.

Il·lustració 34: Valors dels coeficients de seguretat. Extret de: [12]

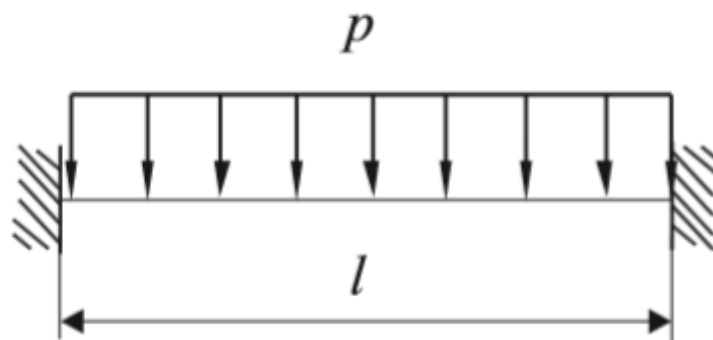
Per a la resolució del dimensionament de la biga, coneixem totes les dades necessàries menys les dimensions de la biga i les seves característiques, llavors utilitzarem la metodologia adquirida a resistència de materials.



Il·lustració 35: Estat de càrrega de les bigues dels forjats

Com podem veure les bigues horitzontals dels dos forjats estan sotmeses a la mateixa càrrega lineal. Segons aquest model, les barres 6 i 3 corresponents a les bigues dels forjats tindran unes unions rígides amb els seus corresponents pilars poden transmetre els flectors als pilars.

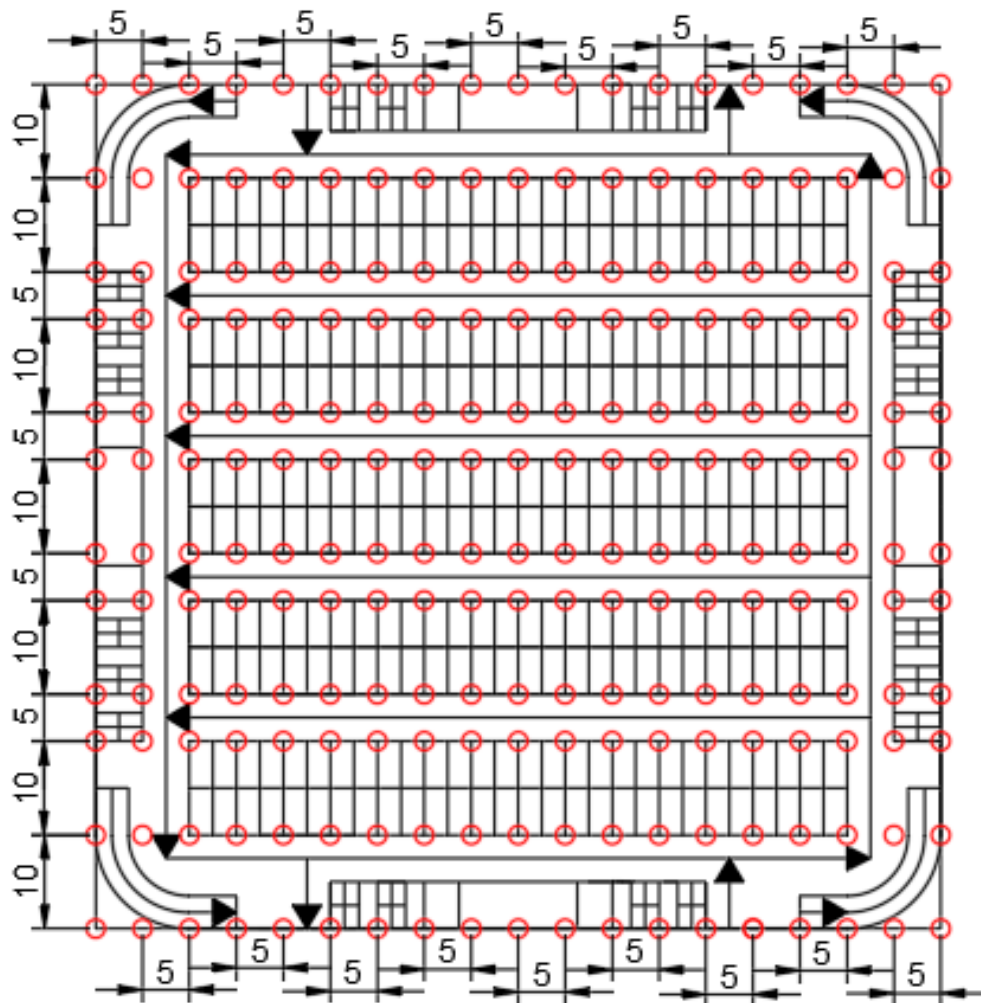
Per dimensionar aquestes bigues per separat dels pilars considerarem una unió rígida tal com hem dit i considerarem una biga en un sistema hiperestàtic com veurem a continuació.



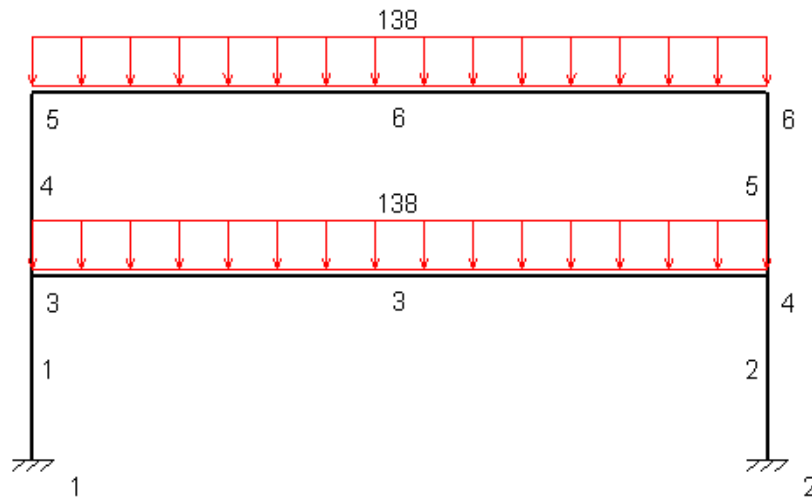
Il·lustració 36: Biga hiperestàtica biencastrada. Extret de: [17]

Sabem que el punt on tenim el flector màxim coincidirà amb el tallant màxim en el cas hiperestàtic, i per tant haurem d'avaluar si el tallant es significatiu. Primer de tot per tantejar realitzarem un càlcul ràpid de si hi ha algun perfil que compleixi els requisits a flexió només i després ja veurem si el tallant es menyspreable. Tots els càlculs realitzats estaran en els annexos corresponent al apartat de (Càlcul de bigues cas hiperestàtic).

El perfil a partir del que es compleixen els requisits de resistència és el IPE 600 amb un acer S450, es a dir, els resultats obtinguts no són molt bons degut a que les bigues que necessitaríem en aquesta distribució de pilars són molt grans i el forjat hauria de ser de com a mínim 60 cm, això ens portaria a un pressupost molt elevat. Llavor, haurem d'aconseguir reduir el flector. Una manera fàcil de reduir-lo és dividir la distància de la biga entre dos degut a que reduiríem el flector entre 4. Refarem els càlculs per a la nova distribució de pilars que veurem a continuació.



II·lustració 37: Nova distribució de pilars



Il·lustració 38: Nova geometria del pòrtic

Ara en la següent taula analitzarem en funció del límit elàstic de l'acer a partir de quin tipus de perfil podrem utilitzar dels que estan normalitzats en les taules corresponents. La casella en verd significarà que a partir d'aquell perfil complirà els límits de resistència establerta per la normativa i si està en vermell a partir d'aquell perfil no ho complirà.

Acer S235	IPE 450	IPE 400
Acer S275	IPE 400	IPE 360
Acer S355	IPE 360	IPE 330
Acer S450	IPE 330	IPE 300

Taula 22: Perfils mínims en bigues amb sistema hiperestàtic

Per tal d'escollir un tipus d'acer, hauríem de fer un anàlisi econòmic però al aconseguir informació sobre la construcció de pàrquings amb estructura d'acer

per ArcelorMittal (és la major companyia siderúrgica del món i es considera actualment com l'únic productor d'acer realment global) seguirem els seus passos utilitzant un acer S355. En aquest cas el perfil utilitzat serà el IPE 360.

Arribats a aquest punt, hem de fer una reflexió degut a que com hem obtingut resultats acceptables amb bigues no molt altes, calcularem els perfils considerant com a sistema isostàtic per veure si les diferències són força significatives. Llavors, ara farem els càlculs i veurem quins perfils compleixen i després ens centrarem en el tema de forjats mixtos d'acer i formigó amb l'objectiu de col·laborar junts i poder reduir el perfil prèviament escollit ja que augmentarem la inèrcia i per tant el moment resistent total augmentarà amb un perfil més petit, però haurem de vigilar degut a que haurem de verificar la condició limitant de la fletxa i aconseguir la inèrcia necessària.

Ara com hem fet en els casos anteriors, anirem a la taula de característiques dels perfils IPE i veurem a partir de quin tipus es compleix aquest estat de càrregues.

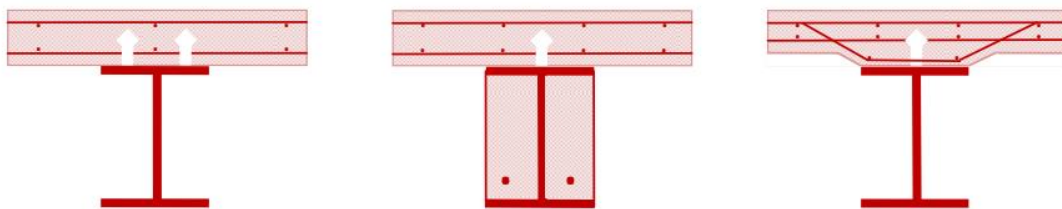
Acer S235	IPE 500	IPE 450
Acer S275	IPE 500	IPE 450
Acer S355	IPE 450	IPE 400
Acer S450	IPE 400	IPE 360

Taula 23: Perfils mínims en bigues amb sistema isostàtic

Els resultats obtinguts són bastant semblants al cas hiperestàtic, però tal com era d'esperar no el milloren.

10.5 Forjat mixt

El disseny de les bigues mixtes de formigó i acer es basa en un aprofitament òptim de les característiques mecàniques d'ambos materials que la formen mitjançant la seva interacció mútua, aconseguida per la connexió a través dels connectors. Normalment les bigues mixtes estan compostes per un perfil d'acer unit mitjançant connectors a una llosa de formigó armat o una llosa mixta amb xapa col·laborant. Hi ha una gran varietat morfològica, depenent de les diverses combinacions de llosa (de formigó, mixta, alveolar ...) i de perfil metàl·lic utilitzat, així com de si la secció d'acer es troba embeguda en formigó o no.



Il·lustració 39: Tipus de bigues mixtes d'acer i formigó. Extret de: [18]

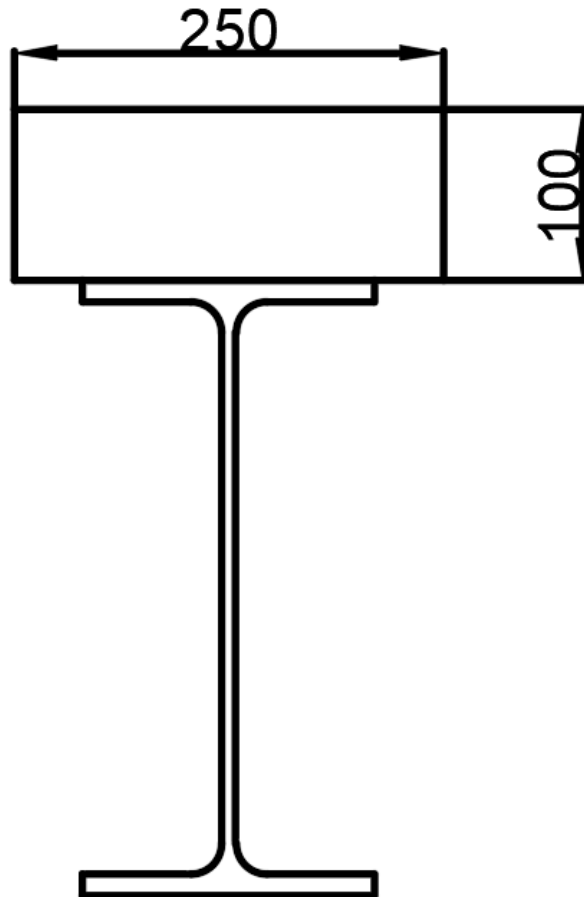
Segons el tipus de connexió que tinguin es poden classificar en tres grups, connexió a rasant, parcial o total en funció de la interfase que tinguem entre els dos elements. En el nostre cas tindrem una connexió total.

Ara veurem com pot millorar la inèrcia de la nostra secció amb la col·laboració del formigó i per tant per començar a fer el anàlisi per tanteig considerarem un perfil d'acer de menor alçada que el que ens ha sortit com a sol·licitant en el previ predimensionament.

En el nostre forjat mixt, haurem de definir el tipus de acer i perfil. Seleccionarem l'acer S355 amb un perfil IPE 360 per a la biga i definirem un gruix de formigó de 10 cm. Llavors amb aquestes dades ja podrem començar a verificar si la inèrcia serà suficient al triar un perfil més baix del que realment necessitàvem. Haurem d'homogeneïtzar tot a un mateix material per a poder realitzar els càlculs, en el nostre cas ens decantarem per l'acer i haurem d'aplicar el coeficient d'homogeneïtzació al formigó.

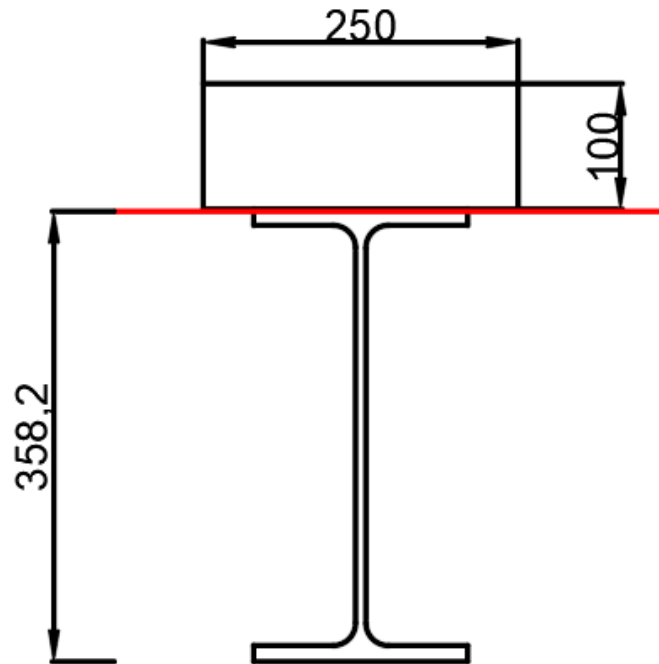
Realitzarem tota una sèrie de càlculs adjunta en els annexos en l'apartat de (Forjat mixt) on acabem dimensionant una forjat mixt que tindrà una llosa de

formigó de 250 centímetres d'amplada i 10 centímetres d'alçada unida a una biga IPE 360. Les unions les calcularem a continuació on haurem de verificar que la zona d'interfase tingui una resistència major als esforços interns.



Il·lustració 40: Biga amb llosa de formigó mixt homogeneïtzat a acer (Unitats en mil·límetres)

A la següent il·lustració veurem on es situa l'eix neutre per a conèixer la zona que estarà sotmesa a tracció i a compressió.



Il·lustració 41: Eix neutre biga homogeneïtzada (unitats en mil·límetres)

Com podem veure l'eix neutre és situa una mica per sota de la interfase entre els dos elements, on tenim la llosa de formigó treballant a compressió i la biga IPE treballant a tracció, on maximitzarem les prestacions de cada material.

La inèrcia obtinguda la compararem amb la necessària per a complir la fletxa, on acabem complint el requisit tal com es veu en la igualtat següent.

$$48147 \text{ cm}^4 \geq 46411 \text{ cm}^4$$

Equació - 21: Comprovació de la inèrcia a fletxa

Com la condició es compleix passarem ara a veure com a millorat la resistència del perfil en el cas de col·laborar amb el formigó.

Tipus d'unió als extrems	Moment resistent mínim amb acer S355
Biga hiperestàtica	$W \geq 850 \text{ cm}^3$
Biga isostàtica	$W \geq 1276 \text{ cm}^3$

Taula 24: Moments resistents acer S355

Calcularem el moment resistent de la biga mixta composta amb acer i formigó.

$$W_x = \frac{I_x}{y_{\max}} = \frac{48147 \text{ cm}^4}{35,82 \text{ cm}} = 1344 \text{ cm}^3$$

Equació - 22: Moment resistent de la biga mixta

Com podem veure la moment resident que tindrem serà el necessari per a complir el cas hiperestàtic i fins i tot l'isostàtic, degut que ens podríem plantejar reduir la resistència de l'acer triat degut que la limitació serà d'inèrcia.

Tipus d'unió als extrems	Moment resistent mínim amb acer S275
Biga hiperestàtica	$W \geq 1098 \text{ cm}^3$
Biga isostàtica	$W \geq 1647 \text{ cm}^3$

Taula 25: Moments resistents acer S275

En el cas de triar acer S275 compliríem la condició a resistència amb les unions hiperestàtiques que tindrem, però hem de pensar que no tindrem una unió perfectament hiperestàtica i per tant al tenir un marge considerable respecte a la resistència, podrem triar aquest tipus d'acer més econòmic.

Això també ens porta a reflexionar i pensar que si considerem la possibilitat d'utilitzar bigues mixtes, les prestacions seran molt bones. Haurem de reflexionar si es millor la opció de reduir el numero de pilars i tornar a dimensionar per a 10 m de llum o considerar l'opció de utilitzar bigues més petites i tenir un forjat molt més petit. Encara falta analitzar un punt crític en les bigues mixtes com veure el tallant que podríem tenir i quantes unions necessitaríem per evitar la separació d'aquest dos elements. Llavors, farem el anàlisis per a el cas de tenir llums de 5 i 10 metres i poder comparar la millor opció fent un anàlisis global. En el cas de llums de 10 metres, el mòdul resident necessari mínim augmentaria quatre vegades el valor actual per a 5 metres, per tant doblaria al moment resistent que tindríem amb les bigues cada 5 metres i per tant no seria gaire viable degut a que es requeririen d'uns forjats molt gruixuts i hauríem de superar uns tallants molt elevats per mantenir la unió en la interfície entre els dos materials que treballaran com un de sol. En conclusió ens quedarem amb la segona distribució de pilars amb una llum de 5 metres. Ara veurem a la següent taula que el perfil IPE 360 d'acer S275 és classe 1, o si volem veure el perquè, podem accedir al document d'on hem extret la taula. Haurem de fer cas a la fila M, degut a que fa referencia al perfil sotmès a tracció mentre la fila N significa sotmès a compressió.

h (mm)	IPE						IPN						UPN					
	S235		S275		S355		S235		S275		S355		S235		S275		S355	
	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M
80	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
120	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
140	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
160	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
180	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
200	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
220	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
240	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
260							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
270	2	1	2	1	3	1												
280							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
300	2	1	2	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
320							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
330	2	1	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
340							1	1	1	1	1	1						
350													1	1	1	1	1	1
360	2	1	3	1	4	1	1	1	1	1	1	1						

Taula 26: Classes dels perfils IPE. Extret de: [19]

Per tant el següent pas és analitzar els tallants per conèixer el número d'unions necessàries que es requeriran i quina distribució tindran en la llosa.

Utilitzarem el teorema de Colignon-Jourawski (els dos enginyers ferroviaris), per conèixer el valor de les tensions tallants que tindrem en la estructura, on:

- V: Correspon al valor de l'esforç tallant en la secció corresponent
- s: Correspon al moment estàtic de la llosa respecte el centre de gravetat del perfil conjunt.
- I: Es correspon al valor de la inèrcia total de la peça, valor calculat anteriorment.

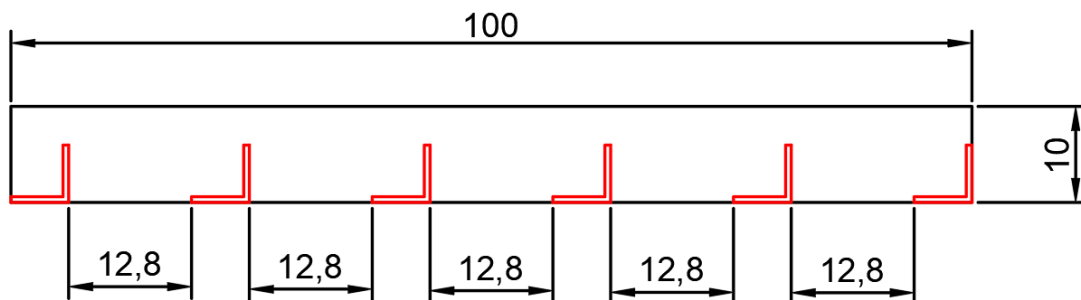
$$\tau = \frac{V \cdot s}{I} = \frac{V \cdot A_1 \cdot y_1}{I_T}$$

Equació - 23: Teorema de Colignon-Jourawski

Una vegada realitzat tots els càlculs que estan en l'annex a la memòria, hem escollit un perfil en L per a poder realitzar les diferents unions al llarg de la biga de 5 metres, on hem dividit la biga en cinc parts diferents degut a que els tallants màxims és situen als extrems i disminueixen a mesura que arribem al centre, amb l'objectiu de conèixer de forma més precisa quants perfils lleugers haurem de col·locar.

Zona 1:

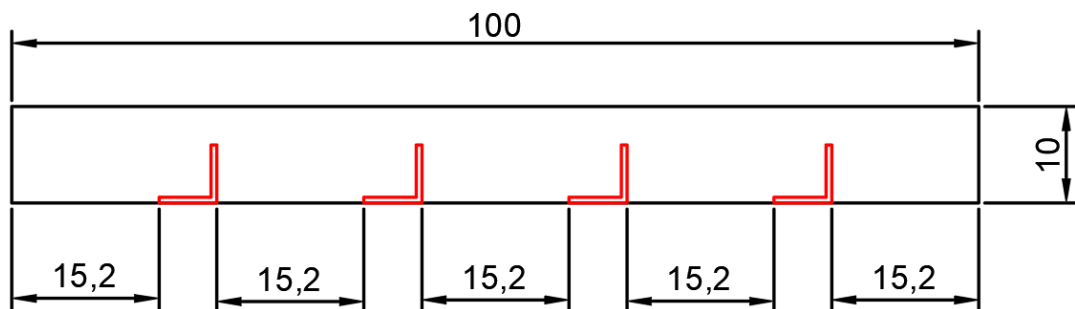
En aquesta zona tindrem el 36% de la superfície ocupada per el perfil en forma de L, llavors per optimitzar al màxim la distribució i col·locar els 6 perfils, fixarem dos d'aquests en els extrems, i la resta estaran separats de forma equidistant entre ells cada 12,8 centímetres.



Il·lustració 42: Distribució perfils en L zona 1 (unitats en centímetres)

Zona 2:

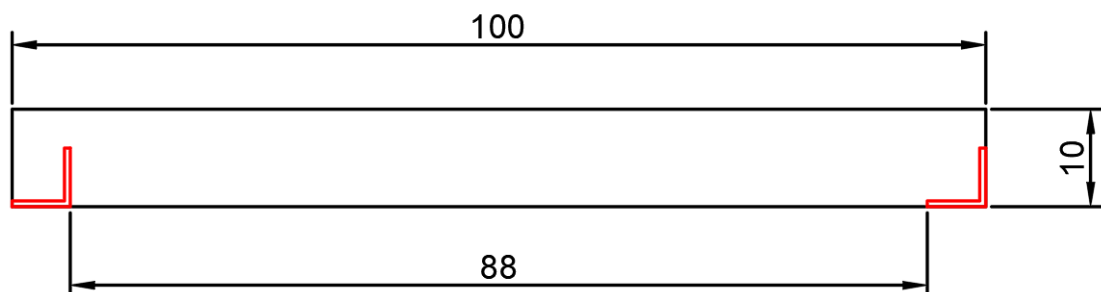
En canvi, en aquesta zona necessitarem com a mínim 4 perfils, que col·locarem equidistantment entre ells però sense fixar-los en els extrems degut que ja tindrem els de la zona 1 i 3. Per tant tindrem una distància de 76 centímetres a dividir en 5 zones que donarà a un total de 15,2 centímetres de separació entre perfils.



Il·lustració 43: Distribució perfils en L zona 2 (unitats en centímetres)

Zona 3:

En aquesta última zona que serà la única que no estarà repetida i tindrà el menor esforç tallant, només caldrà un mínim de 2 perfils que situarem als extrems degut a que situar-los molt proper al centre no tindria gaire sentit degut a que allà el esforç tallant serà nul. Llavors ens quedarà una distància de 88 centímetres entre els dos perfils.



Il·lustració 44: Distribució perfils en L zona 3 (unitats en centímetres)

Per tant per cada 5 metres de llosa, per connectar amb les bigues haurem de utilitzar un total de 12 perfils en L per a aconseguir la unió desitjada.

Arribats a aquest punt ja podrem definir la altura del pàrquing considerant els forjats necessaris mixts tal com hem dimensionat. Segons la normativa vigent a Catalunya la altura mínima lliure és de 220 centímetres. Nosaltres vam definir-la de 230 centímetres en l'apartat de disseny del pàrquing com a referència però que finalment serà la escollida.

Aquesta distribució ens servirà de referenciar per conèixer la altura dels pilars i poder dimensionar el perfil necessari (els nivells per determinar no són necessaris són crític per al dimensionament dels pilars, per tant si escauen els determinarem més endavant). Els pilars aniran del paviment inferior fins a el forjat mixt superior. Llavors per al dimensionament de pilars agafarem un valor de 6 metres, degut a que deixarem un marge per als fonaments que no dimensionarem però que com els pilars estaran units a aquesta haurem de tenir en compte aquesta alçada.

10.6 Càlculs dels pilars

En aquest apartat, haurem de dimensionar els pilars de la nostra estructura que seran els encarregats de transmetre les càrregues al terra a través dels fonaments o cimentacions. Gràcies al següent document [19], ens guiarà en la manera de com realitzar un predimensionament per tal d'afinar d'una manera més ràpid amb el perfil finalment escollit, on després aquest haurà de passar exhaustives comprovacions de resistència de la secció i a vinclament. Per tant, el primer pas serà realitzar un predimensionament. El tipus de perfil que utilitzarem serà el HBE degut a que és el que s'utilitza normalment com a pilars en les estructures i triarem un acer S355.

10.6.1 Predimensionament

El primer perfil d'acer S355 que compliria aquesta condició seria el HEB 240, per tant com el HEB 300 és superior també compliria i serà l'escollit per al predimensionament. Ara haurem d'avaluar-lo més detalladament amb totes les comprovacions pertinents que estan descrites en el DB-SE.

Tots els càlculs d'aquest apartat estan inclosos en els annexos en l'apartat de (Predimensionament dels pilars).

10.6.2 Comprovació del perfil a resistència

Després realitzar les corresponents verificacions per al dimensionament dels pilars que esta adjunt a l'annex en l'apartat de (Comprovació a resistència dels pilars) podem afirmar que el perfil HEB 300 d'acer S355 compleix la comprovació a resistència.

10.6.3 Comprovació a vinclament

Ara que ja hem realitzat la comprovació a resistència i es compleix, haurem de veure com es comportarà el pilar a vinclament sotmès a un estat de flexo-compensió.

Ara veurem a la següent taula que el perfil HEB 300 d'acer S355 és classe 1, o si volem veure el perquè, podem accedir al document d'on hem extret la taula.

h (mm)	HEA						HEB						HEM					
	S235		S275		S355		S235		S275		S355		S235		S275		S355	
	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M	N	M
100	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
120	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
140	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
160	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
180	1	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
200	1	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
220	1	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
240	1	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
260	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
280	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
300	2	2	3	3	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
320	1	1	2	2	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
340	1	1	1	1	3	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Taula 27: Classes dels perfils HEB. Extret de: [19]

11. Disseny de la coberta

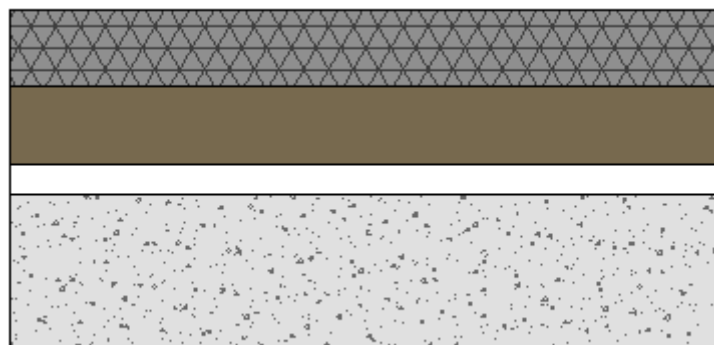
La coberta dissenyada serà no transitable (només per manteniment) a dos aigües amb una pendent d'un 1% per tal d'evitar l'estancament d'aigua deguda a factors climàtics. A més la coberta dissenyada la serà del tipus inversa, on principalment en diferencia de les altres tindrem la capa d'aïllament tèrmic més extern que la capa impermeable.

A continuació definirem totes les capes on utilitzarem el Revit per a la tria de materials per a poder després modelitzar-la en 3D.

Capa:	Material:	Grossor: (mil·límetres)
Acabat	Grava	50
Aïllament tèrmic	Plaques de poliestirè expandit	50
Impermeabilitzant	Tela asfàltica	20
Forjat	Formigó	100

Taula 28: Capes coberta inversa

En la següent il·lustració veurem la vista prèvia després de la introducció de les dades al Revit.



Il·lustració 45: Capes coberta inversa

12. Estudi energètic amb plaques solars fotovoltaïques

En aquest apartat partint de les dimensions del mòdul instal·lat farem un estudi de la viabilitat i rendibilitat de la implantació de plaques solars en funció del número de plantes que tingués el mòdul, degut a que les plaques solars les situaríem a la coberta de l'estructura, i per tant, contra més plantes tinguem, l'energia generada en el propi pàrquing s'haurà de distribuir a més vehicles. Llavors uns dels objectius és trobar el valor de places o vehicles màxim que podríem abastir de forma simultània i a partir d'aquí ja estudiar la seva viabilitat.

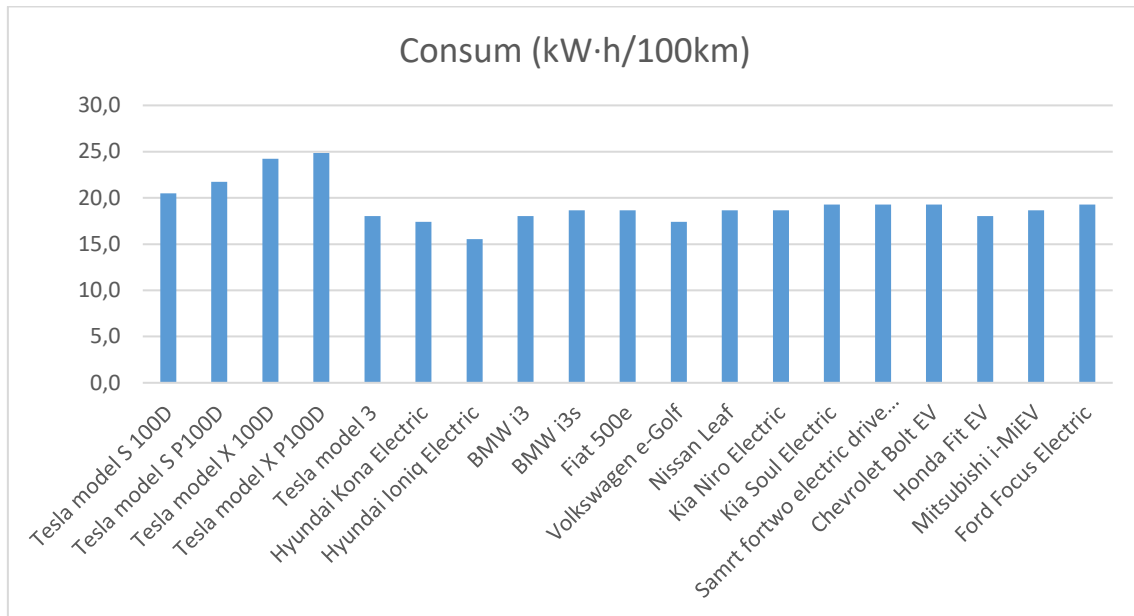
12.1 Energia d'un vehicle elèctric

En aquest apartat realitzarem una recerca d'informació sobre el consum elèctric d'aquest tipus de cotxes, amb l'objectiu de trobar un valor mitjà i un valor màxim per a poder dimensionar les plaques solars del pàrquing i les places màximes que podem abastir en funció del número de plantes que tingui el disseny del mòdul bàsic que dimensionarem posteriorment.

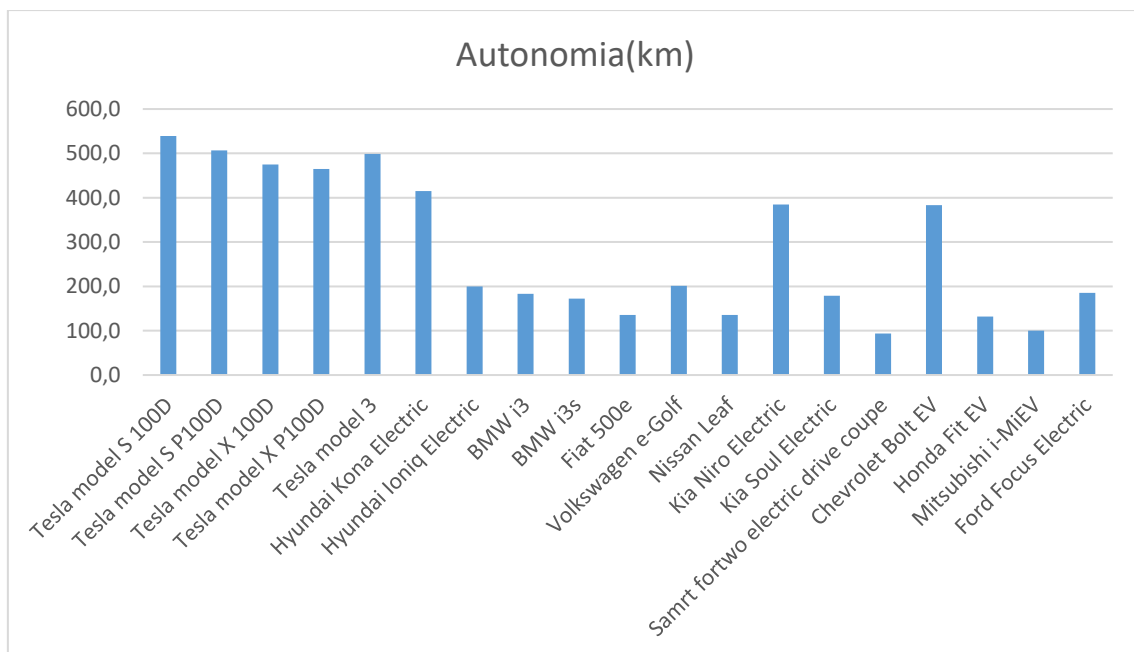
El consum i autonomia de cotxes elèctrics s'homologa a través de dos mètodes implantats en l'actualitat com el WLTP i la EPA. En el nostre cas utilitzarem la EPA utilitzat més als Estats Units però segons l'experiència en els últims anys ha tingut uns resultats més exactes degut a que el WLTP a sorgit com a alternativa al mètode NEDC que va se posat en dubte per diferents problemes amb un seguit de marques de cotxes.

Un dels factors determinants en l'autonomia d'un cotxe elèctric és la temperatura ambient, degut a que les bateries funcionen de forma òptima a uns 20°C.

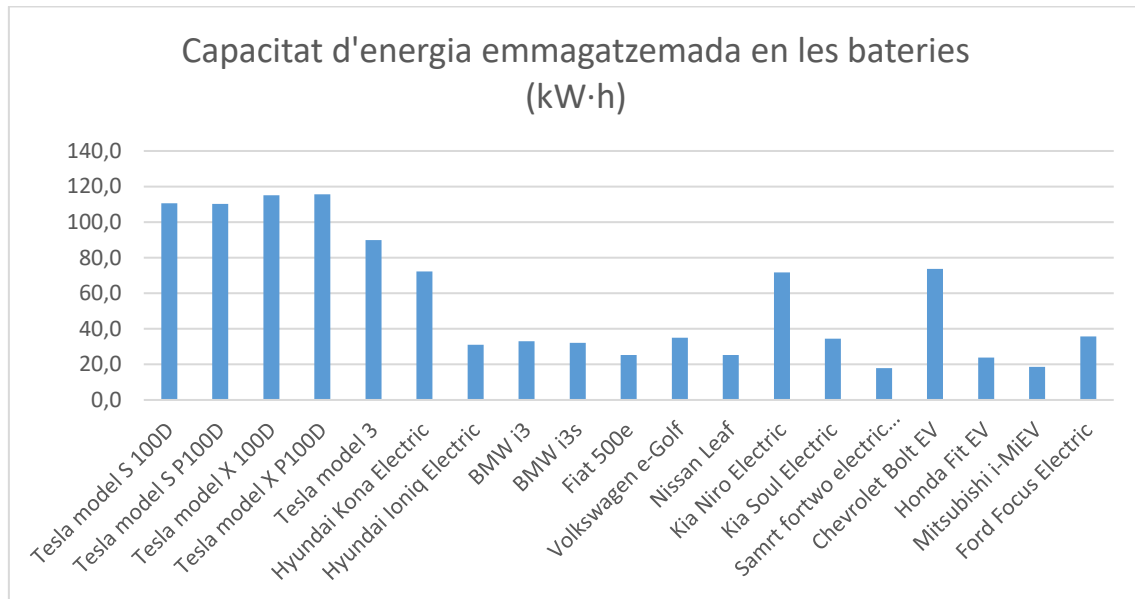
Realitzarem els càlculs en un document Excel amb la informació serà extreta de [20] que fa servir les dades de la EPA per a l'estimació del consum elèctric cada 100km.



II·lustració 46: Consum



II·lustració 47: Autonomia



Il·lustració 48: Capacitat d'energia emmagatzemada en les bateries

Hem obtingut uns resultats bastant interessant en aquests petit estudi, on podem veure que la marca de cotxes elèctrics que ha aconseguit un major desenvolupament en el camp de l'emmagatzematge d'energia en bateries ha sigut TESLA, encara que poc a poc les altres marques estan apostant fort en el seu desenvolupament millorant l'eficiència i capacitat.

Amb totes les dades obtingudes de l'estudi ja podem preveure aproximadament quina serà la demanda d'energia aproximada per vehicle. També haurem de considerar quin tipus de carregador tenim degut a que en funció del que tinguem podem subministrar més energia a un vehicle en menys temps, llavors la potència subministrada serà un dels valors crítics a tenir en compte.

Llavors al definir la superfície de 8100 m² disponible a la coberta haurem de veure quantes plaques es podrien col·locar per obtenir una instal·lació amb el màxim de potència disponible.

12.2 Potencia de la instal·lació fotovoltaica

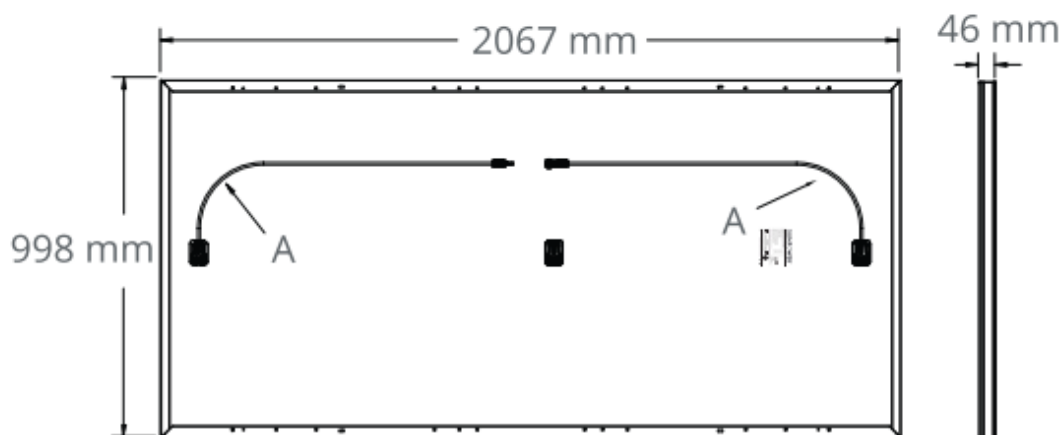
En aquest apartat definirem el número de plaques solars màxim a instal·lar i a més la potència que podrà subministrar tota la instal·lació considerant les dimensions del mòdul bàsic definit en l'apartat de disseny. Aquest disseny seleccionat contarà amb una superfície útil d'uns 8100m². A partir d'aquest valor dimensionem la instal·lació.

Ara escollirem el tipus de placa solar a col·locar, on ens decantarem per la marca SunPower amb les plaques més eficients del mercat actualment a nivell comercial. No triarem el primer model de la taula ja que hi ha un de millor però no per a particulars o habitatges, que és el model P19-405-COM [21] més específic per a instal·lacions mitjanes/grans.

Fabricant	Model	Potència	Dimensions	Eficiència
SunPower	X22-360	360W	1.559 x 1.046 x 46 mm	22.2%
SunPower	X21-345	345W	1.559 x 1.046 x 46 mm	21.5%
LG	NeON R 360	360W	1.700 x 1.016 x 40mm	20.8%
SunPower	E20-327	327W	1.559 x 1.046 x 46 mm	20.4%
AUO	SunForte 330	330W	1.559 x 1.046 x 46 mm	20.3%
SHARP	NQ-R256A	256W	1.318 x 980 x 46 mm	19.8%
Panasonic	VBHN330SJ47	335W	1.590 x 1.053 x 35 mm	19.7%
Panasonic	VBHN325SJ47	325W	1.590 x 1.053 x 35 mm	19.4%

Taula 29: Plaques solars comercials. Extret de: [22]

Aquí podem veure les característiques elèctriques i les dimensions més importants d'aquets model que arriba fins a una potencia nominal de 405W (considerant una radiació de 1000 W/m²) per panell ocupant una superfície total de aproximadament 2m² amb un pes de 23,1kg (0,1155 kN/m²):



Il·lustració 49: Dimensions panell solar. Extret de: [21]

Ja podem calcular la potencia aproximada que tindrà la instal·lació en condicions de màxim rendiment, on en la següent imatge podrem veure el

número de plaques instal·lades en el pàrquing. On hem agrupat les plaques en mòduls de 9. Tindrem un total de 192 mòduls a la coberta.



Il·lustració 50: Plaques solars instal·lades

$$\text{Potència total} = 405 \text{ W} \cdot 192 \cdot 9 = 700 \text{ kW}$$

Equació - 24: Potència a màxim
rendiment de la instal·lació
fotovoltaica

12.3 Carregadors elèctrics

Segons ens informa el següent article [23], actualment TESLA està instal·lant supercarregadors de corrent continu en diferents països del món que subministren fins a 135 kW podent arribar a carregar el cotxe elèctric en menys de una hora. Això ens permetria carregar els vehicles en temps molts curts assegurant als clients la càrrega completa durant el temps d'estacionament. El problema que tindriem es que si considerem el cas més desfavorable amb el pàrquing a una capacitat del 100% d'ocupació amb 328 places per planta (el pàrquing al tenir dues plantes tindrà un total de 656 places) i tots els vehicles estacionats carregant-se necessitariem tenir la següent potència instal·lada:

$$\begin{aligned} \text{Potència total} &= \text{vehicles} \cdot \text{potència carregador} \\ &= 736 \cdot 135\text{kW} = 99,36 \text{ MW} \end{aligned}$$

*Equació - 25: Potència total
dels carregadors elèctrics*

Aquest valor és enorme i seria casi impossible de que es dogues aquest cas degut a que l'ocupació de les places del pàrquing dependrà de molts factors externs com per exemple la localització i l'activitat principal de la zona. També hi haurà un altre factor important, degut a que tots els vehicles no estaran totalment descarregats i per tant el pic de potència no seria tan exagerat. Llavors per a comparar amb el valor de potència instal·lada per les plaques solars, haurem de calcular una potència mitjana per tal de fer el càlcul de la forma més realista possible. La única conclusió que podem treure de moment és que haurem de necessitar d'una segona font d'energia i per tant haurem d'estar connectats a la xarxa elèctrica.

Arribats a aquest punt, haurem de trobar un equilibri econòmic per poder abastir a tots els carregadors però sense tenir un gran cost per potència contractada i veure si es més viable rebre alguna multa per haver superat el pic màxim en algun determinat punt del dia o en la pròpia instal·lació regular l'energia que es subministra a cada vehicle per tal de no sobrepassar la potència contractada i anar tirant de les plaques en casos de pics de potència. Haurem també de suposar que la potència contractada no serà la real que tindrem en els carregadors degut a que aquest són de corrent continua i al fel el canvi a través de convertidors sabem que tindrem pèrdues. Com no és abast del nostre treball no farem aquest càlcul i farem una estimació dels costos necessaris de potència contractada sense considerar les pèrdues ja que dependran de molts factors en els que no entrarem en detall.

Arribats a aquest punt i després de llegir el següent article [24] sobre l'empresa ABB a Suïza i del seu actual desenvolupament en un carregador que superi totes les xifres actuals amb una potència de 350 kW triplicant la xifra dels supercarregadors de Tesla ens portar a fer una profund reflexió sobre el tema.

Actualment, la tecnologia s'està desenvolupant a una gran velocitat i es difícil de preveure cap a quin camp hi haurà un major creixement, per això per a dissenyar el pàrquing per a vehicles elèctrics haurem de tenir diferents consideracions en compte. La primera és que el percentatge de vehicles elèctrics no es gaire gran i si es realitzés un pàrquing amb aquestes dimensions no seria possible que només es restringeixi l'entrada a aquest tipus de vehicles ni que totes les places estiguessin equipades amb carregadors degut a la quota de mercat d'aquest

tipus de vehicles. Un altre punt important és el de tenir un equilibri energètic en el pàrquing i no fer un sobre dimensionament de carregadors augmentant molt els costos d'aquest degut a com es la tendència d'aquest amb un creixement exponencial de la potència que poder donar. Seria molt utòpic pensar que en molt poc temps es desenvoluparien tant els vehicles elèctrics que passarien a acaparar tot el mercat i la tecnologia disponible respecte a l'energia fos capaç de produir i transportar grans quantitats d'energia com les que es demanden en un pàrquing com el dimensionat, per tant ens hem d'adaptar més a la realitat i pensar en com estar la situació actual fent un dimensionament el més eficient possible. No podem excloure del nostre estudi als cotxes híbrids ja que també es poden carregar i fan ús de l'energia elèctrica.

Primer de tot hem de veure quines xifres de quota de mercat de vehicles elèctrics i híbrids que tenim a Catalunya per poder començar a extreure conclusions significatives.

A Catalunya l'últim trimestre de 2018 segons l'Institut Català d'Energia [25] s'han comptabilitzat les següents dades sobre vehicles eficients:

Tipus de vehicle	Número de vehicles matriculats	Percentatge respecte al total de vehicles matriculats
Turismes Híbrids	45926	6,4%
Turismes elèctrics	13573	1,1%
Motos elèctriques	2405	5,5%

Taula 30: Tipus de vehicles a Catalunya

Llavors aquí hem de decidir quin número de places disposaran d'aquest sistema de càrrega, on pot ser que aquest percentatge de vehicles híbrids i elèctrics augmenti en funció de la localització d'aquest. Com l'objectiu es situar-lo en ciutats metropolitanes important on cada vegada s'està regulant més l'entrada a vehicles de combustió considerarem una aproximació d'aquestes dades a l'alça, es a dir, el que farem es del total de places disponibles en el pàrquing instal·lar carregadors a un 15% de les places reservades per a turismes i per a motos també disposarem de carregadors a un 10% del total de les places. Les places

reservades a minusvàlids es contemplaran a part degut a que gaudiran totes del sistema de càrrega elèctrica.

Segons el disseny del pàrquing en la següent taula calcularem les places per planta que tindran carregadors distingint els tipus de places:

Tipus de plaça d'aparcament	Places disponibles per planta	Percentatge de places amb carregador	Places per planta amb carregador
Turismes	280	15 %	42
Turismes especials	8	100 %	8
Motos	80	10 %	8

Taula 31: Places amb carregador al pàrquing

12.4 Producció d'energia renovable i implicacions ambientals

En el nostre cas no generariem suficient energia per abastir a totes les places de vehicles a la vegada i per tant hauríem d'estar connectats a la xarxa elèctrica en el cas que ens fos necessari una aportació o demanda major d'energia.

La producció d'energia renovable (per exemple, la instal·lació solar fotovoltaica o l'energia eòlica) que es connecta a la xarxa elèctrica implica una reducció d'emissions als efectes de la totalitat de la generació elèctrica peninsular, és a dir, l'energia renovable connectada a xarxa ja està computada en el mix elèctric, i en conseqüència, si la seva contribució en la distribució de fonts energètiques augmenta, el mix elèctric disminuirà proporcionalment. Aquesta actuació permet reduir les emissions cobertes per la Directiva de comerç de drets d'emissió, però en cap cas no computa per a la reducció d'emissions difuses. [26]

13. Modelització del pàrquing amb Revit

Amb el programa de Revit utilitzat en la nova metodologia BIM per a dur a terme nous projectes hem pogut modelitzar la nostra estructura amb gran nivell de detall. Hem començat per la creació dels pilars on després hem unit a la cimentació i afegit les bigues que generaran els forjats mixtos de cada planta per tal de suportar les càrregues que tinguem en tot moment. Després hem afegit les lloses de formigó per acabar de formar el forjat mixt i poder definir les places a cada planat on prèviament les hem dissenyat amb 2 dimensions utilitzant l'Autocad i finalment les hem exportat al corresponent nivell que pertocava en el Revit. A més hem definit una coberta estàndard degut a que el tipus que considerem no influirà molt en el disseny, on l'únic factor clau d'aquesta és que no serà transitable (accessible només per a conservació) influint al valor a agafar per considerar l'estat de càrregues considerat. Per acabar hem situat 24 creus de Sant Andreu als pilars que hem considerat convenient per a guanyar estabilitat i que es situaran en els quatre extrems i en els quatre punts mitjans de cada costat del pàrquing.

14. Pressupost i costos

Per realitzar el pressupost, aprofitarem la informació que ens aporta Revit degut que ja ens fa estats d'amidament i podem quantificar tots els elements de cada tipus sense haver d'estar contant-los d'un en un. A partir de tots els elements considerats generarem un pressupost estimat del que pot arribar a costar la part estructural del projecte, ja que normalment els pressupostos de grans projectes d'edificació es divideixen en tres parts, costos estructurals, d'instal·lacions i de.

Llavors la nostra tasca serà trobar el cost de la part estructural del projecte i per una altra banda haurem de considerar el cost dels honoraris professionals que vam considerar en el Project Charter per a la redacció del projecte.

Els costos relacionats amb la instal·lació de plaques fotovoltaïques no els considerarem degut a que no entra en l'abast del projecte dimensionar el sistema elèctric de les plaques sinó que només realitzar un estudi de viabilitat energètica per veure el percentatge d'energia que podríem utilitzar per abastir als carregadors elèctrics per als vehicles.

14.1 Honoraris professionals

Activitat	Hores	Tassa (€/h)	Cost total (€)
Risc d'incendis	10	25	250
Codi tècnic	10	25	250
Comparació entre vehicle elèctric i convencional	4	25	100
Recerca d'informació sobre els perfils d'acer prefabricats	8	25	200
Comparació de les alternatives i tria de la millor solució	8	25	200
Disseny	15	25	375
Càlculs	25	25	625
Recerca informació vehicles elèctrics	8	25	200
Càlcul de l'autonomia i potència mitjana d'un vehicle elèctric en el mercat actual	4	25	100
Viabilitat a nivell energètic	20	25	500
Estudi ambiental i estalvi energètic	15	25	375
Reunions	17	25	425
Project Charter	8	25	200
Qüestionaris de seguiment	1	25	25
Presentació	5	25	125
Tria del programa	2	25	50
Realització del model 3D	32	25	800
Costos estructurals	20	25	500
Costos plaques solars	10	25	250
Memòria text	51	25	1275
Elaboració dels índexs i annexos	17	25	425
Total hores	300 hores	Total cost	7500 €

Taula 32: Honoraris del projectista

Com podem veure en la següent taula tindrem totes les activitats a realitzar amb les seves hores de treball associades per a poder realitzar el projecte desitjat. Tindrem un cost per hora de 25 € constant aplicat a totes les tasques que engloben un total de 300 hores de treball. Per tant el cost final del projectista serà de 7500 €.

14.2 Costos estructurals

En aquest punt, haurem de veure tots els elements estructurals que formaran part dels costos estructurals. Per poder realitzar l'estat 'd'amidaments ens ajudarem del Revit (programa de modelització BIM on hem dissenyat el nostre pàrquing) per a poder veure quants elements de cada tipus tenim i poder quantificar el cost amb la màxima precisió possible dels elements que hem dissenyat. Per als fonaments que no hem dissenyat hi hem considerat unes estàndards de sabata aïllada el cost no serà tant precís com a la resta dels elements però si que ens donarà un valor aproximat que serà força útil per a la quantificació final del pressupost necessari a considerar.

Tots els elements considerats en el projecte s'han quantificat i avaluat individualment en el document de pressupostos i on podrem veure el resum en la següent taula.

	Valor	Unitats	Quantitat	Unitats	Total
Bigues IPE 360 Acer S275	123.270,12	kg	1,58	€/kg	194.766,79 €
Bigues L 60x60x6	7.029,96	kg	1,75	€/kg	12.302,43 €
Pilars HEB 300 Acer S355	160.008,12	kg	1,67	€/kg	267.213,56 €
Fonaments simples	221,62	kg	100,00	€/m ³	22.161,60 €
Forjats	24.300,00	m ²	60,91	€/m ²	1.480.113,00 €
Rampes	321,43	m ²	60,91	€/m ²	19.578,12 €
Coberta	8.100,00	m ²	52,60	€/m ²	426.060,00 €
					2.422.195,49 €

Taula 33: Costos estructurals

15. Aspectes mediambiental

En aquest apartat haurem de veure les implicacions mediambientals que tindria la implantació d'aquest projecte en comparació a altres per veure si realment té un impacte menor que les construccions realitzades amb altres materials com el formigó. Per tant compararem els dos materials per excel·lència més utilitzats en la construcció i veurem les avantatges d'utilitzar l'acer en lloc del formigó com a elements estructurals.

En primer lloc, la utilització de l'acer permet realitzar estructures amb una menor quantitat de material, on en alguns casos prové de processo de reciclatge de la ferralla contribuint així a un desenvolupament sostenible.

D'altre banda, minimitza el temps de construcció en comparació amb altre sistemes constructius fent que l'impacte ambiental durant el procés de muntatge sigui menor degut a que la població estarà exposada menor temps a possibles sorolls.

Per tant, podem dir que l'acer i les estructures metàl·liques actualment despenyen un paper important en el món del desenvolupament sostenible de la construcció degut a que tenen un gran potencial de reciclatge i presenten característiques naturals que concorden amb els requisits d'aquest tipus de desenvolupament.

Per acabar aquest petit anàlisi ambiental, podem dir que la construcció sostenible cada cop està més present en els projectes degut a que aquest sector té un gran impacte a nivell global pel que fa en la utilització de recursos naturals i en la seva posterior transformació mitjançant diferents tècniques que generen un gran impacte i que cada cop s'estan regulant d'una forma més estricta on el medi ambient acabarà tenint un major pes que els interessos econòmics sinó es que ja el té. Tots som responsables del medi natural i no podem posar en risc el futur de les generacions venidores per el simple fet de donar més importància a altres aspectes més irrellevants durant un projecte de la construcció, on hauríem d'aconseguir una sostenibilitat global reduint el material utilitzat, recalant-lo i reutilitzin-lo, a part de millorar i controlar tots els processos durant el cicle de vida d'un element estructural.

16. Conclusions i línies futures d'atac

Podem dir com a conclusió final hem aconseguit dissenyar un pàrquing de grans dimensions però amb perfils classe 1 degut a que els de classe 4 tenen característiques menys interessants per a poder dur a terme un disseny simple i òptim per aprofitar el màxim espai per als aparcaments. Tal com avança la tecnologia actualment, amb els tipus d'acer que tenim avui en dia podem dir que no seria viable realitzar una disseny amb perfils classe 4 cosa que en un futur no és descarta si apareixen altres materials amb millors prestacions per tal de realitzar l'estructura amb menys material i realitzar un impacte menor al medi ambient.

Les futures línies d'atac en aquest projecte podrien ser les següents:

-Dimensionament dels fonaments en funció de la zona en que es vulgui dur a terme el projecte degut que no hem considerat aquest apartat encara que en el model realitzat en Revit hem utilitzat una sàbat simple per a cada pilar. S'hauria de fer prèviament un estudi del terreny per conèixer la millor opció per als fonaments ja siguin superficials o profunds.

-Disseny de les instal·lacions per a aquest pàrquing amb els corresponents elements antiincendis i el desenvolupament de la zona d'ascensors que hem dissenyat sense cap tipus de detall.

-Disseny i dimensionament de la instal·lació fotovoltaica incloent la instal·lació elèctrica de tot el pàrquing, detallant tots els elements necessaris per a poder tenir una il·luminació suficient a totes les places a qualsevol hora.

Per acabar m'agradaria donar les gracies al doctor Carles Romea per els seus grans consells tant bons que m'han ajudat a desenvolupar el treball d'una manera més ràpida i eficient degut als seus amplis coneixements en l'àmbit d'estructures, construccions industrials i resistència dels materials. També fer menció al sergent de bombers de la Generalitat, Joan Salve Tena que va fer possible que hem poguéssim posar amb contacte amb Miquel Rejat Rodríguez cap del Servei de prevenció d'incendis de la Generalitat.

17. Referències:

- [1] «Los relieves de Catalunya». [En línia]. Disponible a: https://www.elnacional.cat/es/cultura/test-coneixements-relieves-catalunya_289995_102.html. [Accedit: 07-juny-2019].
- [2] «Sede Electrónica del Catastro». [En línia]. Disponible a: <https://www1.sedecatastro.gob.es/Cartografia/mapa.aspx?buscar=S>. [Accedit: 07-juny-2019].
- [3] «Direcció General de Prevenció, Extinció d'Incendis i Salvaments. Ús d'Aparcament».
- [4] «ArcelorMittal Europe-Long Products Sections and Merchant Bars».
- [5] Cpa, «TÍTULO 2.º ANÁLISIS ESTRUCTURAL CAPÍTULO V ANÁLISIS ESTRUCTURAL Artículo 17 Generalidades».
- [6] Ministerio de Vivienda, «Orden VIV/561/2010 de 1 de febrero, por la que se desarrolla el documento técnico de condiciones básicas de accesibilidad y no discriminación para el acceso y utilización de los espacios públicos urbanizados.», *Boe*, p. 68555-68559, 2010.
- [7] «Diciembre 2000 Ayuntamiento de Madrid Instrucción de Vía Pública».
- [8] «Idescat. Parc de vehicles. Parc de vehicles, per tipus. Catalunya». [En línia]. Disponible a: <https://www.idescat.cat/pub/?id=parcc&n=291>. [Accedit: 09-abr-2019].
- [9] «normativa urbanis».
- [10] «Idescat. Parc de vehicles. Parc de vehicles, per tipus. Catalunya». [En línia]. Disponible a: <https://www.idescat.cat/pub/?id=parcc&n=291>. [Accedit: 21-maig-2019].
- [11] S. Estructural, «Documento Básico SE-AE», 2009.
- [12] «Documento Básico SE-A Acero SE-A-i».
- [13] E. Documento Básico, «Introducción I Objeto».
- [14] «(63) TUTORIAL: Uniones en Estructuras Metálicas (viga-pilar) - YouTube». [En línia]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=peiSN2JOcng&t=544s>. [Accedit: 07-juny-2019].

-
- [15] «(63) Criterios de diseño de las uniones en estructuras de acero para edificación | 11/16 | UPV - YouTube». [En línia]. Disponible a: <https://www.youtube.com/watch?v=5tzOhb63WEM&t=385s>. [Accedit: 07-juny-2019].
- [16] «Uniones IV. Atornilladas. Pórticos de edificación». [En línia]. Disponible a: <http://www.cypelatam.com/uniones-iv-atornilladas-porticos-de-edificacion.html>. [Accedit: 06-juny-2019].
- [17] C. Romea, «Teoría de Estructuras Detalles de la asignatura».
- [18] «VIGAS MIXTAS».
- [19] J. Antonio *et al.*, «Formulario de Estructura Metálica».
- [20] «Fuel Economy». [En línia]. Disponible a: <https://fueleconomy.gov/>. [Accedit: 28-març-2019].
- [21] «Engineered for Performance SunPower ® Performance Panel for Commercial Installations».
- [22] «Paneles Solares SunPower - Récord Mundial de Eficiencia - Pide Precio». [En línia]. Disponible a: https://www.sfe-solar.com/paneles-solares/sunpower/?gclid=EAlaIqobChMI4KXipLCI4QIV1obVCh0s0AswEAAAYASAAEgJtGvD_BwE. [Accedit: 28-març-2019].
- [23] «Todo lo que querías saber sobre las baterías de los coches eléctricos de Tesla - Novedades - Híbridos y Eléctricos | Coches eléctricos, híbridos enchufables». [En línia]. Disponible a: <https://www.hibridosyelectricos.com/articulo/mercado/todo-querias-saber-baterias-coches-electricos-tesla/20180209151346017420.html>. [Accedit: 28-març-2019].
- [24] «ABB powers e-mobility with launch of first 350 kW high power car charger». [En línia]. Disponible a: <https://new.abb.com/news/detail/4439/abb-powers-e-mobility-with-launch-of-first-350-kw-high-power-car-charger>. [Accedit: 09-abr-2019].
- [25] «Mobilitat eficient. Institut Català d'Energia». [En línia]. Disponible a: <http://icaen.gencat.cat/ca/detalls/article/Nou-article-00825>. [Accedit: 09-abr-2019].
- [26] «Guia pràctica per al càlcul d'emissions de gasos amb efecte d'hivernacle (GEH) 0 GUIA PRÀCTICA PER AL CÀLCUL D'EMISSIONS DE GASOS AMB EFECTE D'HIVERNACLE (GEH)».
- [27] «VIGA SIMPLE APOYADA: carga puntual F genérica».
- [28] «Anejos de la Parte 2».



- [29] «Perfiles de Acero». [En línia]. Disponible a:
<https://ingemecanica.com/tutoriales/prontuariodeperfiles.html#angular>.
[Accedit: 14-maig-2019].
- [30] «CAPITULO VII PIEZAS A COMPRESIÓN (PILARES SIMPLES)».
- [31] A. G. Vállora, «Soportes de acero secciones abiertas clase 1 y 2 a flexocompresión con un M_y, E_d ».



Titulació:

GRAU EN TECNOLOGIES INDUSTRIALS (GRET)

.....

Alumne:

ÀLEX SOCÍAS VILLANUEVA

.....

Enunciat del TFG:

**PROJECTE DE DISSENY D'APARCAMENT AMB ESTRUCTURA
METÀL·LICA AMB PERFILS CLASSE 4 PER VEHICLES ELÈCTRICS I
APROFITAMENT DE L'ENERGIA SOLAR**

.....

Director del TFG:

CARLES ROMEA ROSAS

.....

Convocatòria de lliurament del TFG:

JUNY 2019

.....

ANNEXOS

Accions degudes al vent:

Un altre factor extern a considerar que serà variable és el vent, en general com a força perpendicular a la superfície de cada punt exposat o com a pressió estàtica (q_e) que podem definir de la següent forma.

$$q_e = q_b \cdot c_e \cdot c_p$$

Equació - 26: Càrrega deguda a l'acció del vent

q_b : la pressió dinàmica del vent que podem considerar en el territori espanyol de forma general 0,5 kN/m, però també el podem calcular en funció de la zona en que estiguem i obtindrem un valor més real i precís. Com ens situem en la zona C del mapa el valor de la velocitat del vent serà de 29 m/s i δ serà la densitat de l'aire.

$$q_b = 0,5 \cdot \delta \cdot v_b^2 = 0,52 \text{ kN/m}^2$$

Equació - 27: Pressió dinàmica del vent

c_e : és el coeficient d'exposició de l'estructura variable amb l'altura del punt considerat. En edificis urbans de fins a 8 plantes podem considerar 2,0 independentment de l'altura.

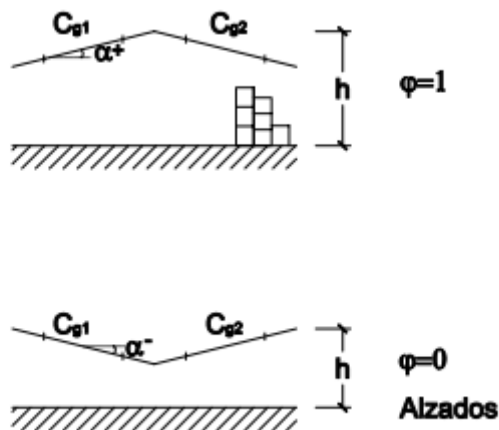
c_p : és el coeficient eòlic o de pressió que depèn de la forma i orientació de la superfície respecte el vent. En el nostre cas com tenim forjats però tenim grans forats als costats de l'estructura ja que no contem amb façanes i només estarem protegits per les bigues i pilars estructurals la nostra estructura es classificarà com a diàfana i hauréu d'analitzar de forma particular.

En general, si l'esveltesa de l'edifici no supera el valor de 6, no serà sensible a les accions dinàmiques del vent i serà suficient considerar el vent en dues direccions ortogonals per a fer el anàlisi global de l'estructura tenint en compte els dos possibles sentits.

$$\text{esveltesa} = \frac{\text{altura}}{\text{longitud de la base}} = \frac{6 \text{ m}}{90 \text{ m}} = 0,067 < 0,25$$

Equació - 28: Condició d'esveltesa

Com ja hem comentat abans la nostra estructura la podrem considerar com a paret lliure o marquesina degut que l'àrea total dels forats en dues o més façanes superarà el 30% de l'àrea total. Per conèixer els valors de pressió eòlica haurem d'anar a les taules de l'annex D.3 del DBSE d'accions a l'edificació que ja ens donarà els valors més desfavorables degut a les direccions del vent per a estar del costat de la seguretat. Dintre d'aquest annex considerarem el nostre cas com a marquesina a dos aigües amb un angle de la coberta menor a 5° però per estar del costat de la seguretat agafarem el de 5° degut a que a les taules no tenim de més de petits.



Il·lustració 51: D.11 Marquesina a dues aigües. Extret de: [11]

Pendiente de la cubierta α	Efecto del viento hacia	Factor de obstrucción φ	Coeficientes de presión			
			$C_{pe,10}$			
			Zona (según figura)			
			A	B	C	D
-20°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,8	1,6	0,6	1,7
	Arriba	0	-0,9	-1,3	-1,6	-0,6
	Arriba	1	-1,5	-2,4	-2,4	-0,6
-15°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,6	1,5	0,7	1,4
	Arriba	0	-0,8	-1,3	-1,6	-0,6
	Arriba	1	-1,6	-2,7	-2,6	-0,6
-10°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,6	1,4	0,8	1,1
	Arriba	0	-0,8	-1,3	-1,5	-0,6
	Arriba	1	-1,6	-2,7	-2,6	-0,6
-5°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,5	1,5	0,8	0,8
	Arriba	0	-0,7	-1,3	-1,6	-0,6
	Arriba	1	-1,5	-2,4	-2,4	-0,6
5°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,6	1,8	1,3	0,4
	Arriba	0	-0,6	-1,4	-1,4	-1,1
	Arriba	1	-1,3	-2,0	-1,8	-1,5
10°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,7	1,8	1,4	0,4
	Arriba	0	-0,7	-1,5	-1,4	-1,4
	Arriba	1	-1,3	-2,0	-1,8	-1,8
15°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	0,9	1,9	1,4	0,4
	Arriba	0	-0,9	-1,7	-1,4	-1,8
	Arriba	1	-1,3	-2,2	-1,6	-2,1
20°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,1	1,9	1,5	0,4
	Arriba	0	-1,2	-1,8	-1,4	-2,0
	Arriba	1	-1,4	-2,2	-1,6	-2,1
25°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,2	1,9	1,6	0,5
	Arriba	0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Arriba	1	-1,4	-2,0	-1,5	-2,0
30°	Abajo	$0 \leq \varphi \leq 1$	1,3	1,9	1,6	0,7
	Arriba	0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Arriba	1	-1,4	-1,8	-1,4	-2,0

Taula 34: Taula D.11 Marquesina a dues aigües. Extret de: [11]

Com el factor d'obstrucció serà 0 degut a que no tindrem façanes ni cap element que impedeixi el pas d'aquest i ens situem a la zona C, tindrem els següents valors de coeficients de pressió i succió. Com a coeficient de pressió (direcció del vent cap a baix, valor independent del factor d'obstrucció) un valor de 1,3 i un coeficient de succió (direcció del vent cap a dalt) un valor de -1,4.

Equació - 29: Càrrega de pressió per unitat de superfície

$$q_{e1} = q_b \cdot c_e \cdot c_p = 0,52 \cdot 2 \cdot 1,3 = 1,352 \text{ kN/m}^2$$



$$q_{e2} = q_b \cdot c_e \cdot c_s = 0,52 \cdot 2 \cdot (-1,4) = -1,456 \text{ kN/m}^2$$

*Equació - 30: Càrrega de
succió per unitat de
superfície*

Accions corresponents a una situació persistent o transitòria (ELU):

Pòrtic tipus 1:

Ara haurem d'analitzar totes les combinacions possibles que tinguem i veure la més desfavorable de totes per a utilitzar-la de referència en el següent pas que serà el dimensionament. En el nostre cas tindrem quatre combinacions possibles amb les següents càrregues que seran totes verticals:

Tipus	Forjat inferior	Forjat superior amb coberta
Permanents	61,26 kN/m	76,42 kN/m
Sobrecàrrega (variable)	20 kN/m	10 kN/m
Neu (variable)	No	10 kN/m
Vent (variable)	Pressió: 13,52 kN/m Succió: -14,56 kN/m	Pressió: 13,52 kN/m Succió: -14,56 kN/m

Taula 35: Càrregues a considerar en ELU pòrtic tipus 1

Combinació 1: Càrrega principal variable de sobrecàrrega:

Forjat inferior:

En aquest cas no tindrem l'acció de la neu i considerarem el vent de pressió com a càrrega desfavorable ja que per a tenir el pitjor cas de dimensionament no haurem de considerar el vent de succió simultàniament degut a que seria una acció favorable.

$$(1,35 \cdot 61,26) + (1,50 \cdot 20) + (1,50 \cdot 0,6 \cdot 13,52) = 124,87 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

Tindrem l'acció de la neu en comparació amb el forjat inferior, la resta de coeficients es mantindran iguals.

$$(1,35 \cdot 76,42) + (1,50 \cdot 10) + (1,50 \cdot 0,5 \cdot 10 + 1,50 \cdot 0,6 \cdot 13,52) = 137,84 \text{ kN/m}$$

Combinació 2: Càrrega principal variable de neu:

Forjat inferior:

En aquest cas l'acció principal variable serà 0 kN/m degut a que no tindrem càrrega de neu en el forjat inferior i haurem de considerar que el coeficient de simultaneïtat de sobrecàrrega correspondrà a la categoria d'ús E (zones de trànsit i d'aparcament de vehicles lleugers amb un pes total inferior a 30 kN). Seguirem considerant només la càrrega de pressió de vent.

$$(1,35 \cdot 61,26) + (1,50 \cdot 0) + (1,50 \cdot 0,7 \cdot 20 + 1,50 \cdot 0,6 \cdot 13,52) = 115,87 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

En comparació amb el forjat inferior, l'acció de neu no serà nul·la i la categoria d'ús de la coberta serà la G per al càlcul de coeficient de simultaneïtat, com a coberta accessible únicament en cas de manteniment que serà 0.

$$(1,35 \cdot 76,42) + (1,50 \cdot 10) + (1,50 \cdot 0 \cdot 10 + 1,50 \cdot 0,6 \cdot 13,52) = 130,34 \text{ kN/m}$$

Combinació 3: Càrrega principal variable de vent de pressió:

Forjat inferior:

En aquest cas l'acció principal variable serà el vent de pressió, i els coeficients seran els considerats en els casos anteriors.

$$(1,35 \cdot 61,26) + (1,50 \cdot 13,52) + (1,50 \cdot 0,7 \cdot 20) = 123,98 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

En comparació amb el forjat inferior, la categoria d'ús de la coberta serà la G per al càlcul de coeficient de simultaneïtat, com a coberta accessible únicament en cas de manteniment que serà 0 com en el cas anterior..

$$(1,35 \cdot 76,42) + (1,50 \cdot 13,52) + (1,50 \cdot 0 \cdot 10 + 1,50 \cdot 0,5 \cdot 10) = 130,95 \text{ kN/m}$$

Combinació 4: Càrrega principal variable de vent de succió:

Forjat inferior:

Aquest cas serà diferent degut a que considerarem vent de succió com a càrrega variable principal i els coeficients que anteriorment eren desfavorables en càrregues verticals, passaran a ser favorables degut a que aniran en el sentit contrari a la direcció del vent que tirarà cap amunt. Per tant, no considerarem la càrrega de vent de pressió per a tenir el cas més desfavorable possible.

$$(0,8 \cdot 61,26) + (1,50 \cdot -14,56) + (0 \cdot 0,7 \cdot 20) = 27,17 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

En comparació amb el forjat inferior, només variarà el valor de la càrrega permanent degut a que els coeficients favorables per a càrregues variables seran de 0.

$$(0,8 \cdot 76,42) + (1,50 \cdot -14,56) + (0 \cdot 0 \cdot 10 + 0 \cdot 0,5 \cdot 10) = 39,30 \text{ kN/m}$$

Pòrtic tipus 2:

Ara un cop analitzat el cas més desfavorable, ho repetirem per a la resta de pòrtics. El següent a analitzar serà el tipus 2 on només calcularem la combinació 1 amb càrrega principal variable de sobrecàrrega que és la combinació possible més desfavorable.

	Tipus	Direcció	Forjat inferior	Forjat superior amb coberta
Permanents		Vertical	46,01 kN/m	57,38 kN/m
Variables	Sobrecàrrega	Vertical	15 kN/m	7,5 kN/m
	Vent	Vertical	Pressió: 10,14 kN/m Succió: -10,92 kN/m	Pressió: 10,14 kN/m Succió: -10,92 kN/m
	Neu	Vertical	No	7,5 kN/m
Accidentals	Impacte	Vertical	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)
		Horitzontal	50 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)	50 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)

Taula 36: Combinació d'accions als pòrtics tipus 2

Combinació 1: Càrrega principal variable de sobrecàrrega:**Forjat inferior:**

En aquest cas no tindrem l'acció de la neu i considerarem el vent de pressió com a càrrega desfavorable ja que per a tenir el pitjor cas de dimensionament no haurem de considerar el vent de succió simultàniament degut a que seria una acció favorable.

$$(1,35 \cdot 46,01) + (1,50 \cdot 15) + (1,50 \cdot 0,6 \cdot 10,14) = 93,74 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

Tindrem l'acció de la neu en comparació amb el forjat inferior, la resta de coeficients es mantindran iguals.

$$(1,35 \cdot 57,38) + (1,50 \cdot 7,5) + (1,50 \cdot 0,5 \cdot 7,5 + 1,50 \cdot 0,6 \cdot 10,14) = 109,10 \text{ kN/m}$$

Pòrtic tipus 3:

	Tipus	Direcció	Forjat inferior	Forjat superior amb coberta
Permanents		Vertical	30,76 kN/m	38,34 kN/m
Variables	Sobrecàrrega	Vertical	10 kN/m	5 kN/m
	Vent	Vertical	Pressió: 6,76 kN/m Succió: -7,28 kN/m	Pressió: 6,76 kN/m Succió: -7,28 kN/m
	Neu	Vertical	No	5 kN/m
Accidentals	Impacte	Vertical	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)
		Horitzontal	50 kN (aplicada a 0,6 m de la zona de rodament)	50 kN (aplicada a 0,6 m de la zona de rodament)

Taula 37: Combinació d'accions als pòrtics tipus 3

Combinació 1: Càrrega principal variable de sobrecàrrega:

Forjat inferior:

En aquest cas no tindrem l'acció de la neu i considerarem el vent de pressió com a càrrega desfavorable ja que per a tenir el pitjor cas de dimensionament no

haurem de considerar el vent de succió simultàniament degut a que seria una acció favorable.

$$(1,35 \cdot 30,76) + (1,50 \cdot 10) + (1,50 \cdot 0,6 \cdot 6,76) = 62,61 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

Tindrem l'acció de la neu en comparació amb el forjat inferior, la resta de coeficients es mantindran iguals.

$$(1,35 \cdot 38,34) + (1,50 \cdot 5) + (1,50 \cdot 0,5 \cdot 5 + 1,50 \cdot 0,6 \cdot 6,76) = 76,59 \text{ kN/m}$$

Accions de curta duració que poden resultar irreversibles (ELS) pòrtics tipus 1:

Ara haurem d'analitzar totes les combinacions possibles que tinguem i veure la més desfavorable de totes per a utilitzar-la de referencia en el següent pas que serà el dimensionament. En el nostre cas tindrem quatre combinacions possibles amb les següents càrregues que seran totes verticals com en el cas de l'ELU (estat límit últim).

Tipus	Forjat inferior	Forjat superior amb coberta
Permanents	61,26 kN/m	76,42 kN/m
Sobrecàrrega (variable)	20 kN/m	10 kN/m
Neu (variable)	No	10 kN/m
Vent (variable)	Pressió: 13,52 kN/m Succió: -14,56 kN/m	Pressió: 13,52 kN/m Succió: -14,56 kN/m

Taula 38: Càrregues a considerar en ELS

Combinació 1: Càrrega principal variable de sobrecàrrega:

Forjat inferior:

$$(61,26) + (20) + (0,6 \cdot 13,52) = 89,37 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

$$(76,42) + (10) + (0,5 \cdot 10 + 0,6 \cdot 13,52) = 99,53 \text{ kN/m}$$

Combinació 2: Càrrega principal variable de neu:

Forjat inferior:

$$(61,26) + (0) + (0,7 \cdot 20 + 0,6 \cdot 13,52) = 83,37 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

$$(76,42) + (10) + (0 \cdot 10 + 0,6 \cdot 13,52) = 94,53 \text{ kN/m}$$

Combinació 3: Càrrega principal variable de vent de pressió:

Forjat inferior:

$$(61,26) + (13,52) + (0,7 \cdot 20) = 88,78 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

$$(76,42) + (13,52) + (0 \cdot 10 + 0,5 \cdot 10) = 94,94 \text{ kN/m}$$

Combinació 4: Càrrega principal variable de vent de succió:

Forjat inferior:

$$(61,26) + (-14,56) + (0,7 \cdot 20) = 60,70 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

$$(76,42) + (-14,56) + (0 \cdot 10 + 0,5 \cdot 10) = 66,86 \text{ kN/m}$$

Accions de curta duració que poden resultar reversibles (ELS) pòrtics tipus 1:

Combinació 1: Càrrega principal variable de sobrecàrrega:

Forjat inferior:

$$(61,26) + (0,7 \cdot 20) + (0 \cdot 13,52) = 75,20 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

$$(76,42) + (0 \cdot 10) + (0 \cdot 10 + 0 \cdot 13,52) = 76,42 \text{ kN/m}$$

Combinació 2: Càrrega principal variable de neu:

Forjat inferior:

$$(61,26) + (0 \cdot 0) + (0,6 \cdot 20 + 0 \cdot 13,52) = 73,26 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

$$(76,42) + (0,2 \cdot 10) + (0 \cdot 10 + 0 \cdot 13,52) = 78,42 \text{ kN/m}$$

Combinació 3: Càrrega principal variable de vent de pressió:

Forjat inferior:

$$(61,26) + (0,5 \cdot 13,52) + (0,6 \cdot 20) = 80,02 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

$$(76,42) + (0,5 \cdot 13,52) + (0 \cdot 10 + 0 \cdot 10) = 83,18 \text{ kN/m}$$

Combinació 4: Càrrega principal variable de vent de succió:

Forjat inferior:

$$(61,26) + (0,5 \cdot -14,56) + (0,6 \cdot 20) = 65,98 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:



$$(76,42) + (0,5 \cdot -14,56) + (0 \cdot 10 + 0 \cdot 10) = 69,14 \text{ kN/m}$$



Accions de llarga duració (ELS) pòrtics tipus 1:

Forjat inferior:

$$(61,26) + (0,6 \cdot 20 + 0 \cdot 0 + 0 \cdot 13,52) = 73,26 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

$$(76,42) + (0 \cdot 10 + 0 \cdot 10 + 0 \cdot 13,52) = 76,42 \text{ kN/m}$$

Tal com hem fet en el cas de estats límits últims, per a la resta de pòrtics només veurem el valor del càlcul per a la combinació més desfavorable de totes per estalviar temps, que serà la combinació 1 de accions de curta duració que poden resultar irreversibles.

Accions més desfavorables (ELS) pòrtic tipus 2:

	Tipus	Direcció	Forjat inferior	Forjat superior amb coberta
Permanents		Vertical	46,01 kN/m	57,38 kN/m
Variables	Sobrecàrrega	Vertical	15 kN/m	7,5 kN/m
	Vent	Vertical	Pressió: 10,14 kN/m Succió: -10,92 kN/m	Pressió: 10,14 kN/m Succió: -10,92 kN/m
	Neu	Vertical	No	7,5 kN/m
Accidentals	Impacte	Vertical	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)
		Horitzontal	50 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)	50 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)

Taula 39: Combinació d'accions als pòrtics tipus 2



Combinació 1: Càrrega principal variable de sobrecàrrega:

Forjat inferior:

$$(46,01) + (15) + (0,6 \cdot 10,14) = 67,09 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

$$(57,38) + (7,5) + (0,5 \cdot 7,5 + 0,6 \cdot 10,14) = 74,71 \text{ kN/m}$$

Accions més desfavorables (ELS) pòrtic tipus 3:

	Tipus	Direcció	Forjat inferior	Forjat superior amb coberta
Permanents		Vertical	30,76 kN/m	38,34 kN/m
Variables	Sobrecàrrega	Vertical	10 kN/m	5 kN/m
	Vent	Vertical	Pressió: 6,76 kN/m Succió: -7,28 kN/m	Pressió: 6,76 kN/m Succió: -7,28 kN/m
	Neu	Vertical	No	5 kN/m
Accidentals	Impacte	Vertical	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)	25 kN (aplicada a 0,6m de la zona de rodament)
		Horitzontal	50 kN (aplicada a 0,6 m de la zona de rodament)	50 kN (aplicada a 0,6 m de la zona de rodament)

Taula 40: Combinació d'accions als pòrtics tipus 3

Combinació 1: Càrrega principal variable de sobrecàrrega:

Forjat inferior:



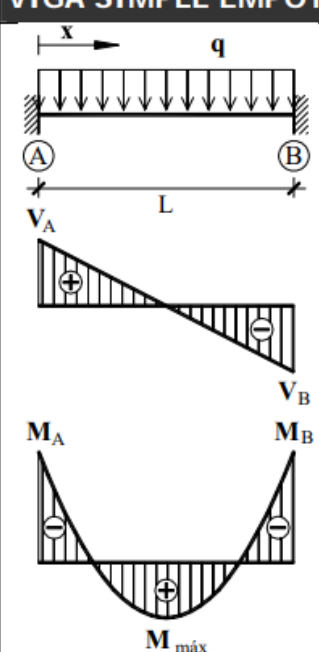
$$(30,76) + (10) + (0,6 \cdot 6,76) = 44,82 \text{ kN/m}$$

Forjat superior amb coberta:

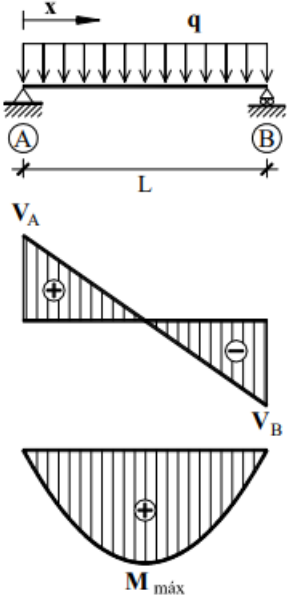
$$(38,34) + (5) + (0,5 \cdot 5 + 0,6 \cdot 6,76) = 49,90 \text{ kN/m}$$

Deformacions verticals o fletxes:

En les següents imatges podem veure d'on extrèiem els valors per a cada cas, obtinguts d'un prontuari que hem trobat i ens ha facilitat la feina. Com podem apreciar la fletxa en el cas de biga simple recolzada serà cinc vegades major que en el cas d'encastament perfecte. Això ens porta a pensar que el cas d'encastament perfecte serà la millor opció però s'haurà de valorar també numèricament per veure l'ordre de magnitud de la inèrcia que necessitem. Aquest punt serà clau degut a que aquesta condició afectarà al perfil escollit i al pressupost del projecte final de forma determinant.

VIGA SIMPLE EMPOTRADA: carga uniforme q en todo el vano.	
	Reacciones y solicitaciones
	Reacciones: $R_A = R_B = \frac{qL}{2}$ Cortantes: $V_{AB} = q \left(\frac{L}{2} - x \right)$ $V_A = -V_B = \frac{qL}{2}$ Flectores: $M_{AB} = -\frac{q}{12}(L^2 - 6Lx + 6x^2)$ $M_A = M_B = -\frac{qL^2}{12}$ $M_{\max} = \frac{qL^2}{24}$ para $x = \frac{L}{2}$ $M_x = 0$ para $x = 0,2113L$
	Deformaciones
	Elástica: $y_{AB} = \frac{qL^4}{24EI} \left(\frac{x}{L} - \frac{x^2}{L^2} \right)^2$ Flecha máxima: $y_{\max} = \frac{qL^4}{384EI}$ para $x = \frac{L}{2}$

Il·lustració 52: Prontuari biga simple encastada. Extret de: [27]

VIGA SIMPLE APOYADA: carga uniforme q en todo el vano.	
	Reacciones y solicitaciones
	Reacciones: $R_A = R_B = \frac{qL}{2}$
	Cortantes: $V_{AB} = q \left(\frac{L}{2} - x \right)$ $V_A = -V_B = \frac{qL}{2}$
	Flectores: $M_{AB} = \frac{qx}{2}(L-x)$ $M_{\max} = \frac{qL^2}{8}$ para $x = \frac{L}{2}$
	Deformaciones
	Giros: $\phi_A = -\frac{qL^3}{24EI}$ $\phi_B = \frac{qL^3}{24EI}$
	Elástica: $y_{AB} = \frac{qx}{24EI}(x^3 - 2Lx^2 + L^3)$
	Flecha máxima: $y_{\max} = \frac{5qL^4}{384EI}$ para $x = \frac{L}{2}$

Il·lustració 53: Prontuari biga simple recolzada. Extret de: [27]

$$f = \frac{1}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I}$$

Equació - 31: Fletxa de biga hiperestàtica

$$f = \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I}$$

Equació - 32: Fletxa de biga isostàtica

Combinant les dues condicions podrem trobar la mínima inèrcia que necessitem i després de dimensiona les bigues més endavant comparar el resultat per verificar que es compleix la normativa.

$$1,67 \text{ cm} \geq \frac{1}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I} \rightarrow I \geq \frac{1}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot 1,67 \text{ cm}}$$

Equació - 33: Inèrcia necessària
cas hiperestàtic

$$I \geq \frac{1}{384} \cdot \frac{(100 \cdot 10^3 N) \cdot (5m)^4}{(2,1 \cdot 10^{11} Pa) \cdot (1,67 \cdot 10^{-3} m)} \\ = 46411 \text{ cm}^4$$

$$1,67 \text{ cm} \geq \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot I} \rightarrow I \geq \frac{5}{384} \cdot \frac{q \cdot L^4}{E \cdot 1,67 \text{ cm}}$$

*Equació - 34: Inèrcia necessària
cas isostàtic*

$$I \geq \frac{5}{384} \cdot \frac{(100 \cdot 10^3 N) \cdot (5m)^4}{(2,1 \cdot 10^{11} Pa) \cdot (1,67 \cdot 10^{-3} m)} \\ = 232051 \text{ cm}^4$$

Com podem veure la fletxa dependrà molt del tipus d'unió o condició en el nus, per tant ens quedarem amb el cas de biga encastada degut a que la inèrcia que haurem de tenir és cinc vegades inferior al cas de biga simple recolzada i faria que les bigues necessàries fossin d'unes dimensions enormes. Per tant la inèrcia final del perfil considerat serà la següent.

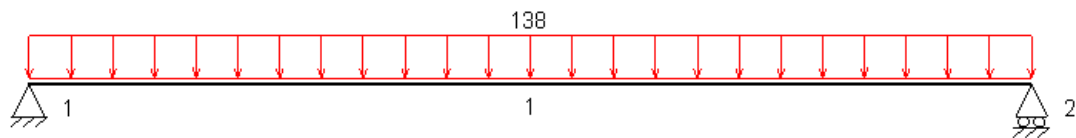
$$I \geq 46411 \text{ cm}^4$$

Equació - 35: Condició final d'inèrcia de les bigues

Càlcul de bigues resolució cas hiperestàtic:

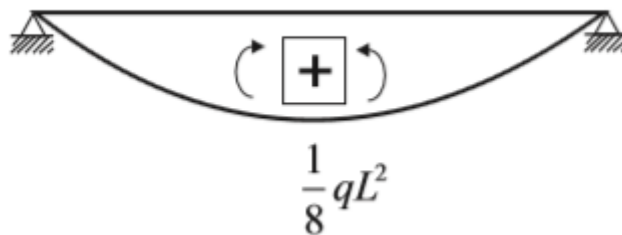
Per resoldre el sistema hiperestàtic, haurem de dur a terme els següents cinc passos basats en el mètode de les forces. Per realitzar aquest mètode ens basarem en els teoremes de Mohr per a relacionar les condicions cinemàtiques imposades amb la matriu de rigidesa.

1→ Sistema isostàtic equivalent:



Il·lustració 54: Sistema equivalent isostàtic

2→ Diagrama de flectors:



Il·lustració 55: Diagrama de flectors sistema isostàtic. Extret de: [17]

3→ Calcular la S_{ext} :

La S_{ext} és la superfície tancada per el diagrama de moments flectors degut a càrregues exteriors.

$$S_{ext} = + \frac{2}{3} L \cdot q \cdot \frac{L^2}{8} = + \frac{q \cdot L^3}{12}$$

Equació - 36: S_{ext}

4→Calcular la M_{ext}^B :

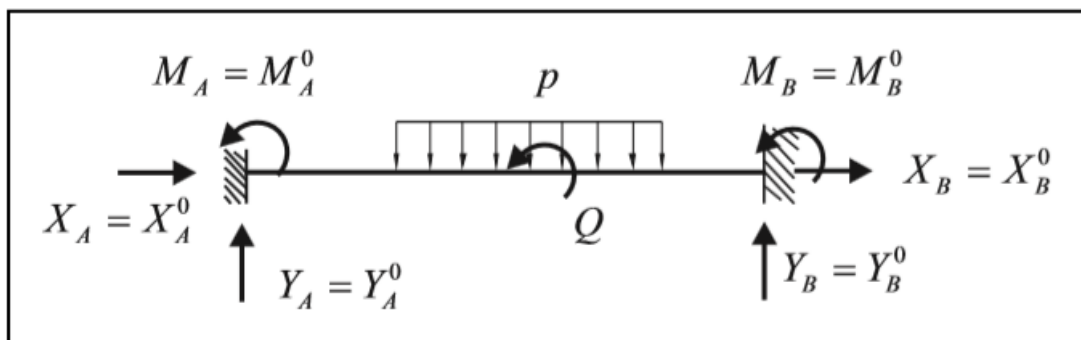
La M_{ext}^B és el moment estàtic d'aquesta àrea trobada en el punt anterior respecte al extrem B de la barra (on l'extrem B correspon al extrem d'on està situat el punt 2).

$$M_{ext}^B = + \frac{1}{2} \cdot L \cdot q \cdot \frac{L^3}{12} = + \frac{q \cdot L^4}{24}$$

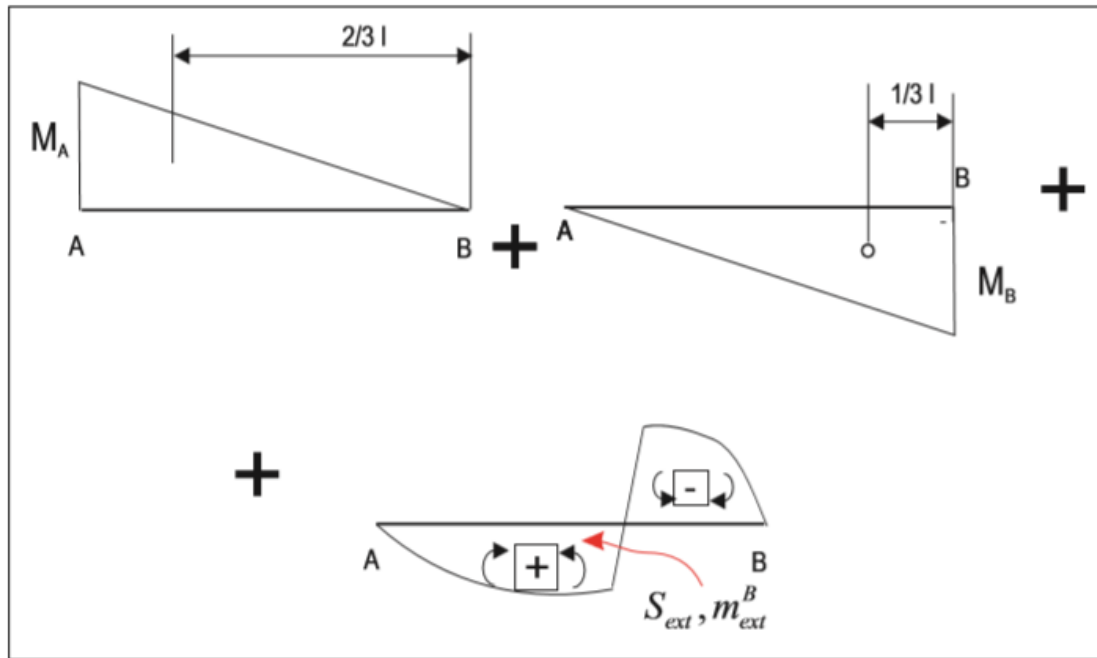
Equació - 37: Moment estàtic

5→Aplicar les equacions elàstiques

Els passos per arribar a les equacions elàstiques seran els següents extrets del llibre de TECI:



II·lustració 56: Incògnites d'encastament perfecte. Extret de:[17]



Il·lustració 57: Diagrama d'esforços resultant. Extret de: [17]

$$\overset{=0}{V_B} = \overset{=0}{V_A} + \overset{=0}{\phi_A} \cdot \overset{L}{(x_B - x_A)} + \int_A^B \frac{M(s)}{EI_z} (x_B - x(s)) ds \rightarrow$$

$$0 = \left(\left(-\frac{1}{2} M_A^0 L \right) \left(\frac{2}{3} L \right) + \left(\frac{1}{2} M_B^0 L \right) \left(\frac{1}{3} L \right) + m_{ext}^B \right)$$

Equació - 38: Primer teorema de Mohr. Extret de: [13]

$$\overset{=0}{\phi_B} = \overset{=0}{\phi_A} + \int_A^B \frac{M(s)}{EI_z} ds = \frac{1}{EI_z} \left(-\frac{1}{2} M_A^0 L + \frac{1}{2} M_B^0 L + S_{ext} \right)$$

Equació - 39: Segon teorema de Mohr. Extret de: [13]

$$M_A^0 = \frac{6m_{ext}^B}{L^2} - \frac{2S_{ext}}{L}$$

$$M_B^0 = \frac{6m_{ext}^B}{L^2} - \frac{4S_{ext}}{L} = M_A^0 - \frac{2S_{ext}}{L}$$

Equació - 40: Moments d'encastament perfecte. Extret de: [13]

$$M_A^0 = \frac{6 \cdot \frac{q \cdot L^4}{24}}{L^2} - \frac{2 \cdot \frac{q \cdot L^3}{12}}{L} = + \frac{q \cdot L^2}{12}$$

Equació - 41: Moment punt A d'encastament perfecte

$$M_B^0 = \frac{6 \cdot \frac{q \cdot L^4}{24}}{L^2} - \frac{4 \cdot \frac{q \cdot L^3}{12}}{L} = - \frac{q \cdot L^2}{12}$$

Equació - 42: Moment punt B d'encastament perfecte

$$Y_A^0 = \frac{M_A^0 + M_B^0 + \sum M_{ext}^B}{L}$$

$$Y_B^0 = -Y_A^0 - \sum F_{ext}^y$$

Equació - 43: Forces transversals d'encastament perfecte. Extret de:[13]

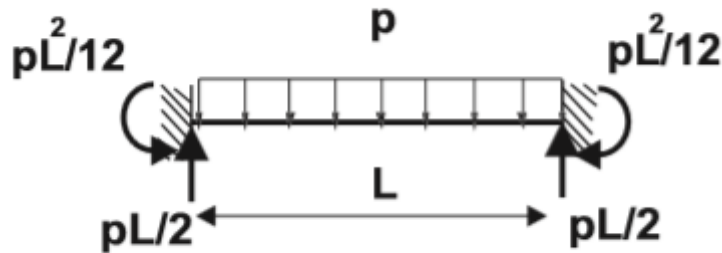
$$Y_A^0 = \frac{\frac{q \cdot L^2}{12} - \frac{q \cdot L^2}{12} + \frac{q \cdot L^2}{2}}{L} = + \frac{q \cdot L}{2}$$

Equació - 44: Força transversal d'encastament perfecte al punt A

$$Y_B^0 = -\frac{q \cdot L}{2} + q \cdot L = + \frac{q \cdot L}{2}$$

Equació - 45: Força transversal d'encastament perfecte al punt B

Després de realitzar tots aquests passos arribarem a aquest resultat, on p en la nostra notació serà q (càrrega aplicada uniformement distribuïda):



Il·lustració 58: Prontuari biga hiperestàtica biencastrada. Extret de: [17]

Lavors podrem saber el moment flector màxim que tindrà aplicant, que coincidirà en el punt mig de la biga. Al tenir un moment a l'extrem de la biga, al fer el anàlisi dels flectors, comparat amb el cas isostàtic el màxim moment flector en la biga serà la meitat del valor que el flector que es transmetrà als extrems de la biga.

Al conèixer aquest valor, ja podrem calcular el moment màxim limitant i per tant dimensionar la biga per a que suporti la càrrega aplicada uniformement distribuïda.

$$M_{ed} \leq M_{c,Rd}$$

Equació - 46: Secció sotmesa a flexió

On M_{ed} és el moment flector màxim que actuarà sobre la secció i no podrà superar al $M_{c,Rd}$ (resistència a flexió de la secció) i dependrà de la classe de perfil d'acer que tinguem. Podem expressar el $M_{c,Rd}$ d'una manera més desenvolupada. On tindrem els següents termes:

→ W : Mòdul resistent plàstic o elàstic en la fibra corresponent a major tensió en funció de la classe que tinguem de perfil. Degut a que podrem considerar dos tipus d'anàlisis diferents.

→ f_y : Tensió del límit elàstic del material base. No es considerarà l'efecte d'enduriment derivat del conformat en fred o de qualsevol altra operació.

→ γ_M : Coeficient parcial de seguretat relatiu a la plastificació del material, el seu valor serà de 1,05 (extret de la taula dintre del principi de l'apartat).

$$M_{c,Rd} = W \cdot f_{yd} = \frac{W \cdot f_y}{\gamma_M}$$

Equació - 47: Resistència a flexió de la secció de la biga

Ara calcularem el moment flector màxim que actuarà sobre la nostra secció considerant el cas més desfavorable amb longitud=10m (degut a que és la càrrega que rebrà la biga del forjat muntat):

$$M_{ed} = \frac{q \cdot l^2}{12} = \frac{\frac{138kN}{m} \cdot (10m)^2}{12} = 1150kN \cdot m$$

Equació - 48: Moment flector màxim

$$1150kN \leq \frac{W \cdot f_y}{1,05}$$

Equació - 49: Condició a complir de la secció a flexió

Com podem veure haurem de jugar amb la igualtat anterior fins trobar un perfil que la compleixi. Com hi haurà diferents perfils que ho compliran haurem de veure de quina classe serà i econòmicament quin serà més viable per a la nostra estructura ja que necessitarem bastants. Triarem el perfil d'acer IPE ja que creiem que es el més adient i un dels més utilitzats. A continuació analitzarem en funció del tipus d'acer (en funció del límit elàstic característic) que utilitzarem quin abast de perfils tindrem per a cada tipus.

$$W \geq \frac{1,05 \cdot 1150 \cdot 10^3}{235 \cdot 10^6} = 5139 \text{ cm}^3$$

Equació - 50: Mòdul resistent acer 235

$$W \geq \frac{1,05 \cdot 1150 \cdot 10^3}{275 \cdot 10^6} = 4391 \text{ cm}^3$$

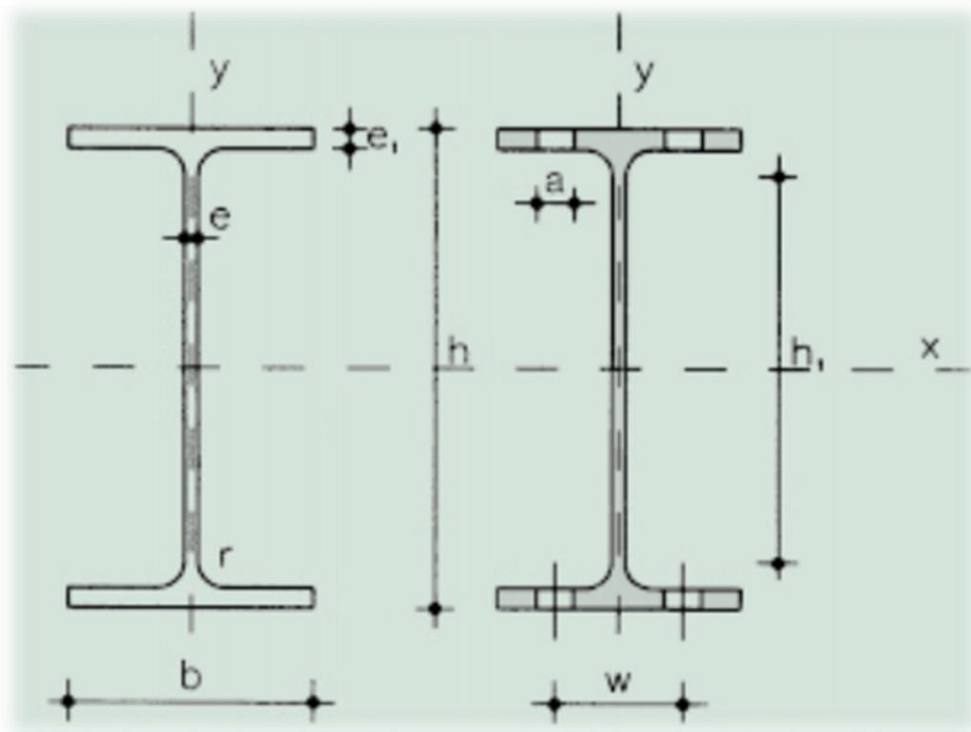
Equació - 51: Mòdul resistent acer 275

$$W \geq \frac{1,05 \cdot 1150 \cdot 10^3}{355 \cdot 10^6} = 3402 \text{ cm}^3$$

Equació - 52: Mòdul resistent acer 355

$$W \geq \frac{1,05 \cdot 1150 \cdot 10^3}{450 \cdot 10^6} = 2684 \text{ cm}^3$$

Equació - 53: Mòdul resistent acer 450



Il·lustració 59: Perfil IPE. Extret de: [28]

Ara en la següent taula analitzarem quins perfils podrem triar en funció de l'acer seleccionat mirant les característiques tècniques del perfil a la taula normalitzada on haurem de comparar el mòdul resistent de la secció respecte l'eix x. Llavors amb totes les dades que tindrem, podrem classificar quins perfils podrem utilitzar en funció de l'acer, cosa que realitzarem en una taula a continuació de la de característiques dels perfils IPE normalitzats

Perfil	Dimensiones							Términos de sección										Agujeros			Peso	
	h mm	b mm	e mm	e ₁ mm	r ₁ mm	h ₁ mm	u mm	A cm²	S _x cm³	I _x cm⁴	W _x cm³	i _x cm	I _y cm⁴	W _y cm³	i _y cm	I _t cm⁴	I _a cm⁶	w mm	a mm	e ₂ mm	p kp/m	
IPE 80	80	46	3,8	5,2	5	60	328	7,64	11,6	80,1	20,0	3,24	8,49	3,69	1,05	0,721	118	—	—	3,8	6,00	C
IPE 100	100	55	4,1	5,7	7	75	400	10,30	19,7	171,0	34,2	4,07	15,90	5,79	1,24	1,140	351	—	—	4,1	8,10	C
IPE 120	120	64	4,4	6,3	7	93	475	13,20	30,4	318,0	53,0	4,90	27,70	8,65	1,45	1,770	890	35	—	4,4	10,40	C
IPE 140	140	73	4,7	6,9	7	112	551	16,40	44,2	541,0	77,3	5,74	44,90	12,30	1,65	2,630	1.981	40	11	4,7	12,90	C
IPE 160	160	82	5,0	7,4	9	127	623	20,10	61,9	869,0	109,0	6,58	68,30	16,70	1,84	3,640	3.959	44	13	5,0	15,80	C
IPE 180	180	91	5,3	8,0	9	146	698	23,90	83,2	1.320,0	146,0	7,42	101,00	22,20	2,05	5,060	7.431	48	13	5,3	18,80	P
IPE 200	200	100	5,6	8,5	12	159	788	28,50	110,0	1.940,0	194,0	8,26	142,00	28,50	2,24	6,670	12.990	52	13	5,6	22,40	P
IPE 220	220	110	5,9	9,2	12	178	848	33,40	143	2.770	252	9,11	205	37,3	2,48	9,15	22.670	58	17	5,9	26,20	P
IPE 240	240	120	6,2	9,8	15	190	922	39,10	183	3.890	324	9,97	284	47,3	2,69	12,00	37.390	65	17	6,2	30,70	P
IPE 270	270	135	6,6	10,2	15	220	1.040	45,90	242	5.790	429	11,20	420	62,2	3,02	15,40	70.580	72	21	6,6	36,10	P
IPE 300	300	150	7,1	10,7	15	249	1.160	53,80	314	8.360	557	12,50	604	80,5	3,35	20,10	125.900	80	23	7,1	42,20	P
IPE 330	330	160	7,5	11,5	18	271	1.250	62,60	402	11.770	713	13,70	788	98,5	3,55	26,50	199.100	85	25	7,5	49,10	P
IPE 360	360	170	8,0	12,7	18	299	1.350	72,70	510	16.270	904	15,00	1.040	123,0	3,79	37,30	313.600	90	25	8,0	57,10	P
IPE 400	400	180	8,6	13,5	21	331	1.470	84,50	654	23.130	1.160	16,50	1.320	146,0	3,95	48,30	490.000	95	28	8,6	66,30	P
IPE 450	450	190	9,4	14,6	21	379	1.610	98,80	851	33.740	1.500	18,50	1.680	176,0	4,12	65,90	791.000	100	28	9,4	77,60	P
IPE 500	500	200	10,2	16,0	21	426	1.740	116,00	1.100	48.200	1.930	20,40	2.140	214,0	4,31	91,80	1.249.000	110	28	10,2	90,70	P
IPE 550	550	210	11,1	17,2	24	468	1.880	134,00	1.390	67.120	2.440	22,30	2.670	254,0	4,45	122,00	1.884.000	115	28	11,1	106,00	C
IPE 600	600	220	12,0	19,0	24	514	2.010	155,00	1.760	92.080	3.070	24,30	3.390	308,0	4,66	172,00	2.846.000	120	28	12,0	122,0	C

Taula 41: Perfils IPE. Extret de: [28]

Nomes hi ha un perfil de tots que ho compleixi, el IPE 600 i l'acer hauria de tenir una límit elàstic de 450 MPa, cosa que faria que el cost fos molt elevat i no tindríem flexibilitat en el disseny.

Càlcul de bigues cas hiperestàtic nova distribució:

Com sabem amb les càrregues que tenim, els moments flectors màxims estaran situats als extrems de les barres en aquest tipus de sistema estructural i on coincidiran amb els esforços tallants màxims. Per tant haurem de dimensionar la biga tenint en compte els dos esforços. Al fer la simulació amb el Mefi considerant un perfil aleatòria, ens surten que la tensió equivalent de Von Mises màxima es situa en aquest punts crítics (extrems de la biga) tal com era d'esperar.

Si $V_{ED} \leq 0,5 \cdot V_{pl,Rd}$, es pot menysprear la reducció del moment plàstic resistit per la secció causa de l'esforç tallant, i la comprovació es realitzarà a flexió simple. La resistència plàstica de la secció a tallant ve definida per l'expressió:

$$V_{pl,Rd} = A_v \cdot \frac{f_{yd}}{\sqrt{3}}$$

Equació - 54: Resistència plàstica de la secció.
Extret de: [15]

A continuació calcularem el valor per al nostre acer que seleccionarem que serà el de límit elàstic 235MPa (acer S235) degut a que si aquest compleix la resta també compliran la condició. Llavors només ens faltaria conèixer el valor del àrea a tallant (A_v). En funció de com estigui carregada la biga haurem d'utilitzar un tipus d'equació i també en funció del tipus de perfil. En el nostre cas triarem un IPE que pertany al grup de perfils en I. Tindrem la carrega paral·lelament a l'ànima de la biga i per tant aplicarem la següent expressió simplificada (on e serà l'espessor de l'ànima i h l'alçada). Haurem de realitzar un procés iteratiu fins a aconseguir trobar un perfil que compleixi els requisits per poder deprecia el tallant. En el cas de que no fos possible hauríem de dimensionar la biga d'una forma més complexa.

Per poder realitzar la iteració ens farà falta conèixer el valor màxim del tallant que en el cas de biga hiperestàtica serà $q \cdot L/2$.

$$V_{ED} = \frac{q \cdot L}{2} = \frac{\frac{138kN}{m} \cdot 5m}{2} = 345 kN$$

Equació - 55: Tallant màxim

$$A_V = h \cdot e$$

Equació - 56: Àrea a tallant. Extret de: [15]

$$345 \cdot 10^3 \leq 0,5 \cdot t \cdot e \cdot \frac{235 \cdot 10^6}{1,05 \sqrt{3}}$$

Equació - 57: Condició necessària per
menysprear el tallant

$$h \cdot t_w \geq 5,34 \text{ mm}$$

Ara mirant la taula del perfil IPE, trobarem a partir de quin perfil es complirà la condició necessària per poder menysprear el tallant.

Per tant, podem veure que tots els perfils compliran aquestes condicions i podrem treballar en el dimensionament de la biga amb el cas de flexió simple. Llavors el moment màxim en un sistema hiperestàtic serà el següent:

$$M_{ed} = \frac{q \cdot l^2}{12} = \frac{138 \text{ kN}}{m} \cdot \frac{(5 \text{ m})^2}{12} = 287,5 \text{ kN} \cdot \text{m}$$

Equació - 58: Moment flector
màxim

Com podem veure haurem de jugar amb la igualtat anterior fins trobar un perfil que la compleixi. Com hi haurà diferents perfils que ho compliran haurem de veure de quina classe serà i econòmicament quin serà més viable per a la nostra estructura ja que necessitarem bastants. Triarem el perfil d'acer IPE ja que creiem que es el més adient i un dels més utilitzats. A continuació analitzarem en funció del tipus d'acer (en funció del límit elàstic característic) que utilitzarem quin abast de perfils tindrem per a cada tipus.

$$287,5 \text{ kN} \leq \frac{W \cdot f_y}{1,05}$$

Equació - 59: Igualtat de resistència
a flexió a complir cas hiperestàtic.
Extret de: [15]

$$W \geq \frac{1,05 \cdot 287,5 \cdot 10^3}{235 \cdot 10^6} = 1285 \text{ cm}^3$$

*Equació - 60: Moment resistent
necessari per a acers S235 cas
hiperestàtic*

$$W \geq \frac{1,05 \cdot 287,5 \cdot 10^3}{275 \cdot 10^6} = 1098 \text{ cm}^3$$

*Equació - 61: Moment resistent
necessari per a acers S275 cas
hiperestàtic*

$$W \geq \frac{1,05 \cdot 287,5 \cdot 10^3}{355 \cdot 10^6} = 850 \text{ cm}^3$$

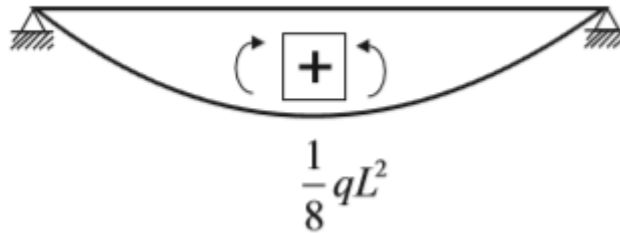
*Equació - 62: Moment resistent
necessari per a acers S355 cas
hiperestàtic*

$$W \geq \frac{1,05 \cdot 287,5 \cdot 10^3}{450 \cdot 10^6} = 671 \text{ cm}^3$$

*Equació - 63: Moment resistent
necessari per a acers S450 cas
hiperestàtic*

Càlcul de bigues resolució cas isostàtic:

Com en un cas isostàtic, si tenim només flexió pura, el flector màxim es produirà en el centre de la biga. El valor l'obtenim d'un prontuari però obtenir-lo seria molt fàcil aplicant els coneixements de resistència de materials.



Il·lustració 60: Diagrama de moment flector sistema isostàtic

Ara calcularem el valor d'aquet flector màxim:

$$M_{ed} = \frac{q \cdot l^2}{8} = \frac{\frac{138kN}{m} \cdot (5m)^2}{8} = 431,25 \text{ kN} \cdot m$$

Equació - 64: Moment flector màxim

Com podem veure haurem de jugar amb la igualtat anterior fins trobar un perfil que la compleixi. Analitzarem quatre tipus d'acer diferent en funció del seu límit elàstic.

$$431,25 \text{ kN} \leq \frac{W \cdot f_y}{1,05}$$

Equació - 65: Igualtat de resistència a flexió a complir cas isostàtic. Extret de: [15]

$$W \geq \frac{1,05 \cdot 431,25 \cdot 10^3}{235 \cdot 10^6} = 1927 \text{ cm}^3$$

*Equació - 66: Moment resistent
necessari per a acers S235 cas
isostàtic*

$$W \geq \frac{1,05 \cdot 431,25 \cdot 10^3}{275 \cdot 10^6} = 1647 \text{ cm}^3$$

*Equació - 67: Moment resistent
necessari per a acers S275 cas
isostàtic*

$$W \geq \frac{1,05 \cdot 431,25 \cdot 10^3}{355 \cdot 10^6} = 1276 \text{ cm}^3$$

*Equació - 68: Moment resistent
necessari per a acers S355 cas
isostàtic*

$$W \geq \frac{1,05 \cdot 431,25 \cdot 10^3}{450 \cdot 10^6} = 1007 \text{ cm}^3$$

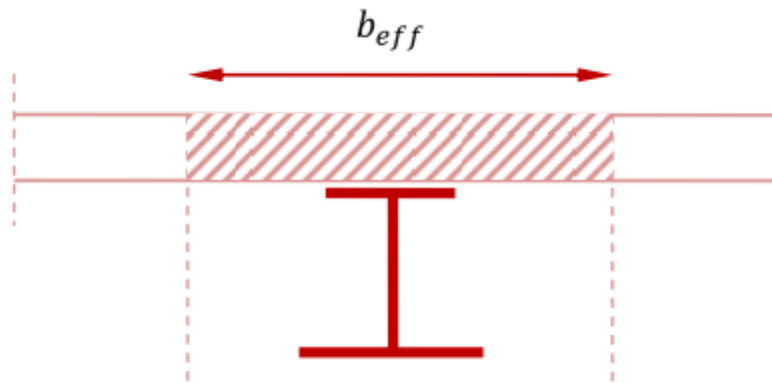
*Equació - 69: Moment resistent
necessari per a acers S450 cas
isostàtic*

Forjat mixt:

En el apartat de les càrregues a considerar vam considerar una càrrega en el forjat de 5 kN/m^2 i una biga IPE 220. El cas de que ara estiguem dimensionant amb bigues més grans no ens suposarà cap problema degut a que la càrrega que vam considerar per al forjat per taules, és bastant elevada en comparació a la que realment tindrem degut a que si considerem la densitat del formigó de 2400 Kg/m^3 i la multipliquem per el espessor de la placa, ens sortirà una càrrega total de $2,4 \text{ kN/m}^2$, cosa que ens farà estar del costat de la seguretat i farà que si considerem un perfil molt gran, el dimensionament actual sigui igualment vàlid sense haver de tronar a refer els càlculs anteriors.

Per realitzar a la nostra verificació, considerarem un anàlisi global elàstic, que es pot realitzar inclús quan les propietats de la secció es basin en la residència plàstica o no lineal, es a dir, el podem realitzar independentment de la classe de secció que tinguem.

Haurem de complir una condició d'àrea eficaç mínima en funció de la distància que faci la nostra llum. En el nostre cas, serà constant i de 5 m. En la següent il·lustració podem veure on considerarem aquesta amplada.



Il·lustració 61: Amplada eficaç biga. Extret de: [18]

$$b_{eff} \geq \frac{L}{8} = \frac{500 \text{ cm}}{8} = 62,5 \text{ cm}$$

Equació - 70: Amplada eficaç mínima de la llosa del forjat mixt

Per complir la normativa estipulada, el valor de l'amplada eficaç considerada haurà de ser major sempre a 62,5 cm, tot considerant la llosa de formigó centrada en el perfil d'acer que tinguem.

Haurem de homogeneïtzar la secció per a que les diferents característiques dels dos materials les tinguem com si fos un únic material, en aquest cas com si tinguéssim només acer. Utilitzarem el coeficient d'equivalència que relaciona els mòduls d'elasticitat de l'acer i el formigó.

$$\eta = \frac{E_A}{E_C} = \frac{210000 \text{ MPa}}{27000 \text{ MPa}} = 7,8 \approx 10$$

Equació - 71: Factor d'homogeneïtzació entre acer i formigó

Utilitzarem el valor de 10 en comptes de 7,8 degut a que en el anàlisis que farem no tindrem en compte la fluència del formigó i d'aquesta manera tenir-ho en compte. Aquesta relació de rigideses és estàtica i lineal abans d'arribar a la zona del límit elàstic i començar a plastificar la secció. Per simplificar els càlculs treballarem amb cm^4 degut a que en les taules trobem les dades en aquestes unitats i ens estalviarem realitzar factors de conversió.

Haurem d'analitzar cada quan tindrem una llosa de formigó degut a que la distància entre pòrtics no es constant en la nostra estructura. El anàlisis és el mateix que en el dels pilars i calcularem el de una llosa de 10 m d'amplada i 0,1 cm de gruix.

$$E_C \cdot I_C = E_S \cdot I_S$$

Equació - 72: Igualtat de rigidesa

Un cop tenim la relació que s'haurà de complir, calcularem la inèrcia del plafó de formigó considerant que està fet del mateix material sens encara passar a acer amb el coeficient de relació pertinent.

$$I_C = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{1000 \cdot 10^3}{12} = 83333,4 \text{ cm}^4$$

Equació - 73: Inèrcia de la llosa de formigó

Ara, haurem de trobar la base equivalent en el cas que fos d'acer per després utilitzar les dues seccions com si fos una conjunta. Llavors la h serà de 10 cm com en el cas del formigó i per tant la base es veurà reduïda amb un factor de

10. Es a dir, per una mateixa llosa però d'acer, la base serà 10 vegades més petita.

$$I_s = \frac{1}{12} \cdot I_c = \frac{b_s \cdot h^3}{12} \rightarrow b_s = 100 \text{ cm}$$

*Equació - 74: Base
equivalent de la llosa en
acer*

Ara el següent pas serà trobar la inèrcia de la secció composta per veure si compleix amb els requisits de les taules normalitzades. Llavors, la nostra inèrcia nova haurà de ser igual a major a 33740 cm⁴.

Primer de tot haurem de trobar el centre de gravetat de la nova peça per després aplicar el teorema de Steiner i trobar la inèrcia total.

	Àrea (cm ²)	Distància al eix d'inèrcia x (cm)
Secció 1 (Llosa equivalent)	$A_1 = 10 \cdot 100 = 1000$	$h_1 = 36 + 5 = 41$
Secció 2 (IPE 360)	$A_2 = 72,70$	$h_2 = 18$

Taula 42: Característiques forjat mixt

Ens interessarà que el nou centre de gravetat coincideixi amb el rasant de separació degut a que tindrem el formigó només treballant a compressió i el acer rebellant a tracció, aprofitant-nos de les seves propietats.

$$y = \frac{A_1 \cdot h_1 + A_2 \cdot h_2}{A_1 + A_2} = \frac{1000 \cdot 41 + 72,7 \cdot 18}{1000 + 72,7} = 39,44 \text{ cm}$$

*Equació - 75: Centre de
gravetat del forjat mixt*

Veient aquest valor, com esta per sobre de 36 cm, tindriem al formigó treballant a flexió i per tant no ens interessaria considerar tota la amplada de la llosa com a base eficaç. Com també tenim bigues que tenen com a amplada 7,5 m però estan descentrades, podem considerar 5m per considerar tot els casos iguals i tenir les mateixes connexions en tota l'estructura del pàrquing. Llavor refarem els

càlculs que hem estat realitzant per veure on ens quedaria el nou centre de gravetat.

$$I_c = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{500 \cdot 10^3}{12} = 41666,7 \text{ cm}^4$$

Equació - 76: Inèrcia de la llosa de formigó considerant 5 metres d'amplada eficaç

$$I_s = \frac{1}{\eta} \cdot I_c = \frac{b_s \cdot h^3}{12} \rightarrow b_s = 50 \text{ cm}$$

Equació - 77: Nova amplada de la llosa homogeneïtzada en acer

	Àrea (cm ²)	Distància al eix d'inèrcia x (cm)
Secció 1 (Llosa equivalent)	$A_1 = 10 \cdot 50 = 500$	$h_1 = 36 + 5 = 41$
Secció 2 (IPE 360)	$A_2 = 72,70$	$h_2 = 18$

Taula 43: Noves característiques forjat mixt

$$y = \frac{A_1 \cdot h_1 + A_2 \cdot h_2}{A_1 + A_2} = \frac{500 \cdot 41 + 72,7 \cdot 18}{500 + 72,7} = 38,08 \text{ cm}$$

Equació - 78: Centre de gravetat de la biga mixta considerant 5 metres d'amplada eficaç

Com encara així el valor és superior als 36 cm, considerarem una amplada de 1m que equivaldrà a 10 cm passats al as de que fos d'acer la llosa. Llavors la A_1 passarà a valdre 100 cm².

$$y = \frac{A_1 \cdot h_1 + A_2 \cdot h_2}{A_1 + A_2} = \frac{100 \cdot 41 + 72,7 \cdot 18}{100 + 72,7} = 31,32 \text{ cm}$$

Equació - 79: Centre de gravetat de la biga mixta considerant 1 metre d'amplada eficaç

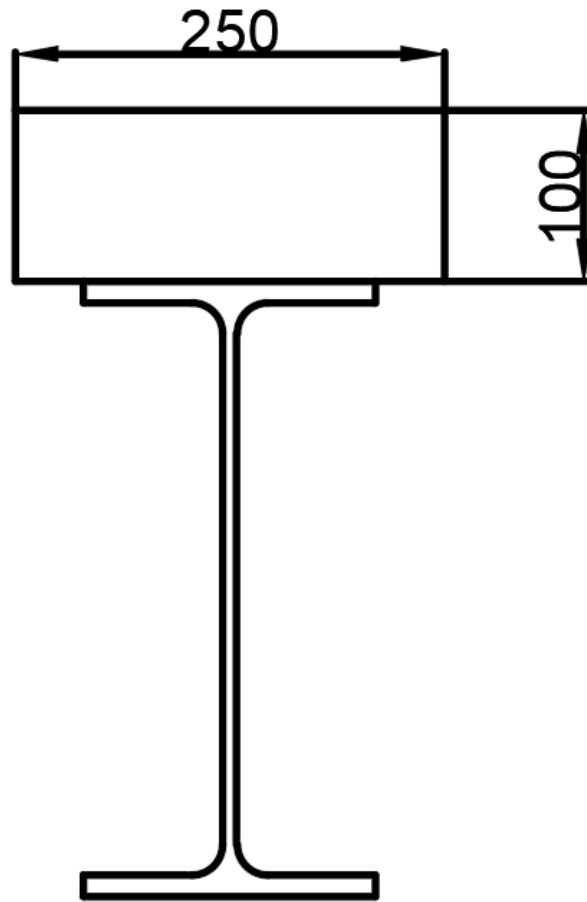
En aquest cas el centre de gravetat estarà per sota de la interfase de connexió entre els dos material i per tant, tindrem al formigó treballant a tracció. El fet de considerar 1m de llosa en la unió determinarà la inèrcia total. Una bona manera de fer un bon dimensionament, es calcular per a quina amplada eficaç tindriem el màxim de inèrcia i tenint el centre de gravetat en el límit de la interfase per a que el formigó estigui sotmès a compressió. D'aquesta manera optimitzaríem el perfil i la utilització dels dos materials aprofitant al màxim les unions.

$$y = \frac{(10 \cdot b_e) \cdot h_1 + A_2 \cdot h_2}{(10 \cdot b_e + A_2)} \rightarrow b_e = \frac{A_2 \cdot (h_2 - y)}{10 \cdot (y - h_1)}$$

$$= \frac{72,7 \cdot (18 - 36)}{10 \cdot (36 - 41)} = 26,17 \text{ cm}$$

Equació - 80: Amplada eficaç per a tenir el centre de gravetat en la interfase biga i llosa

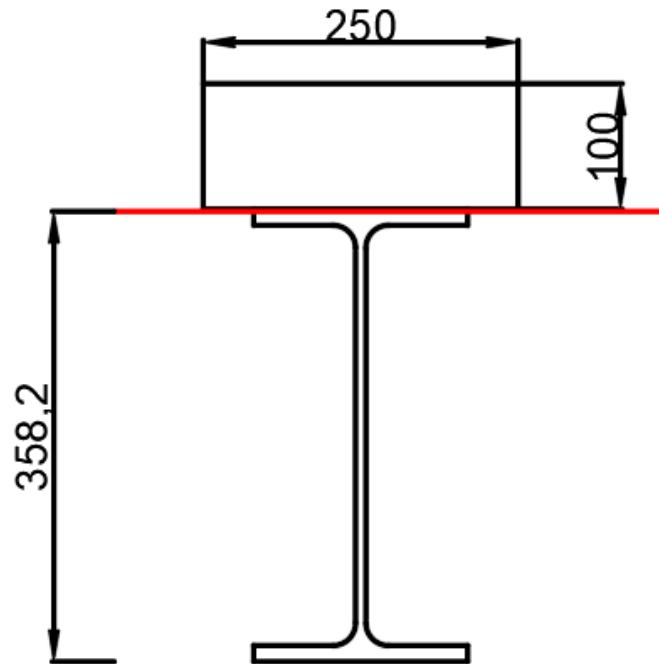
Llavors, veient el resultat, haurem de passar aquest valor a equivalent de formigó multiplicant per 10 i tindrem un total de 2,617 m. En el nostre cas, considerarem 2,5 m (on com $250 \text{ cm} > 62,5 \text{ cm}$, estarem complint la condició necessària d'amplada eficaç) per tal de tenir un marge fins al valor trobat. Per tant refarem els càlculs considerant una llosa de formigó que passada a acer equivaldrà a 25 cm de base.



Il·lustració 62: Biga amb llosa de formigó mixt homogeneïtzat a acer (Unitats en mil·límetres)

$$y = \frac{A_1 \cdot h_1 + A_2 \cdot h_2}{A_1 + A_2} = \frac{(10 \cdot 25) \cdot 41 + 72,7 \cdot 18}{250 + 72,7} = 35,82 \text{ cm}$$

Equació - 81: Centre de gravetat final amb llosa de 2,5 metres de formigó



Il·lustració 63: Eix neutre biga homogeneïtzada (unitats en mil·límetres)

Ara calcularem la inèrcia total de la secció total homogeneïtzada utilitzant Steiner. On I_1 serà la inèrcia de la llosa de formigó homogeneïtzada, I_2 serà la inèrcia de el perfil IPE, i les distàncies y_1 i y_2 seran les distàncies de les dues seccions per separat des de els seus propis centres de gravetat al centre de gravetat de la peça composta.

$$I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{25 \cdot 10^3}{12} = 2083,3 \text{ cm}^4 \quad \text{Equació - 82: Inèrcia de la llosa homogeneïtzada}$$

$$\begin{aligned} I_T &= I_1 + I_2 + (A_1 \cdot y_1) + (A_2 \cdot y_2) \\ &= 2083,3 + 16270 + (250 \cdot 5,18^2) \\ &\quad + (72,7 \cdot 17,82^2) = 48147 \text{ cm}^4 \end{aligned} \quad \text{Equació - 83: Inèrcia total de la biga mixta}$$

Primer de tot verificarem que la inèrcia compleixi la condició de fletxa que imposa l'estat límit de servei (ELS) per a les deformacions verticals.

Forjat mixt càlcul d'elements d'unió:

Utilitzarem el teorema de Colignon-Jourawski (els dos enginyers ferroviaris), per conèixer el valor de les tensions tallants que tindrem en la estructura, on:

- V: Correspon al valor de l'esforç tallant en la secció corresponent
- s: Correspon al moment estàtic de la llosa respecte el centre de gravetat del perfil conjunt.
- I: Es correspon al valor de la inèrcia total de la peça, valor calculat anteriorment.

$$\tau = \frac{V \cdot s}{I} = \frac{V \cdot A_1 \cdot y_1}{I_T}$$

Equació - 84: Teorema de Colignon-Jourawski

Aquest valor dependrà de la secció que considerem degut que el diagrama de l'esforç tallant no és constant. Per tant, dividirem el diagrama en 5 parts degut a que tenim 5 metres de longitud entre suports. Això ens portarà a tenir 5 parts dividides en grups de 1 metre i poder dimensionar els connectors per cadascuna de les parts. Per tant, tindrem 3 zones diferents degut a la simetria del diagrama. Analitzarem els 3 possibles esforços considerant el màxim possible en cada zona. Partirem del esforç màxim i aplicant propietats trigonomètriques trobarem la resta. Considerarem el coeficient corresponent a estats límits últims (ELU) de 1,5.

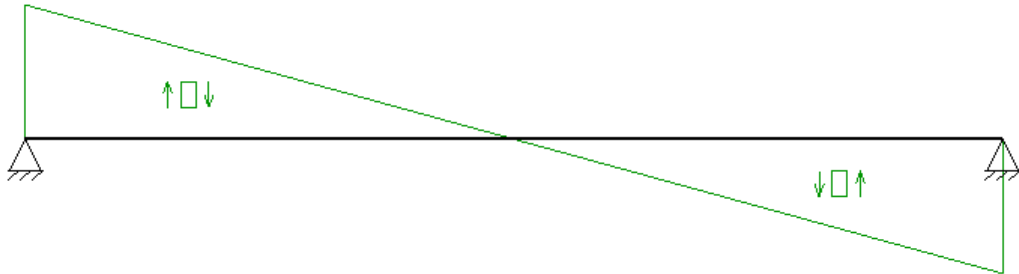
$$V_{\max} = \frac{138 \text{ kN} \cdot 5 \text{ m}}{2} = 345 \text{ kN}$$

Equació - 85: Esforç tallant màxim

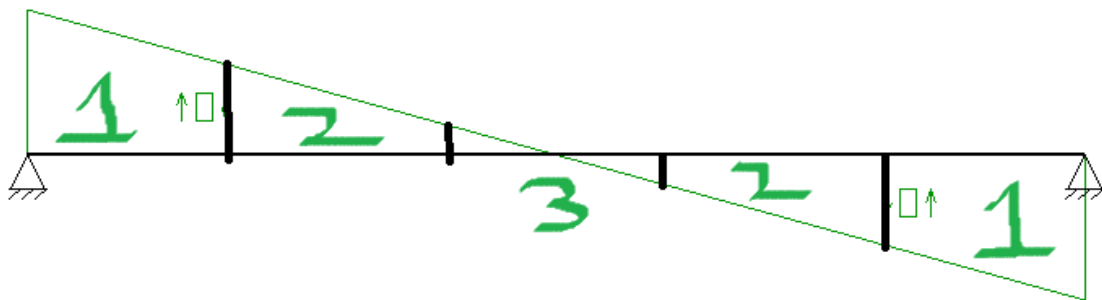
$$\begin{aligned} \tau_{\max} &= \frac{V_{\max} \cdot \gamma \cdot A_1 \cdot y_1}{I_T} = \frac{345 \text{ kN} \cdot 1,5 \cdot 250 \text{ cm}^2 \cdot 5,18 \text{ cm}}{48147 \text{ cm}^4} \\ &= 13,92 \text{ kN/cm} \end{aligned}$$

Equació - 86: Tensió tallant màxima

Aquest valor s'haurà de multiplicar per una longitud per tenir una força equivalent en cada superfície. Com la distancia entre zones és de 1 metre, multiplicarem el resultat obtingut per 100 cm.



Il·lustració 64: Diagrama de esforços tallants



Il·lustració 65: Diagrama de esforços tallants en zones

Zona 1	Zona 2	Zona 3
$F_1 = 1392 \text{ kN}$	$F_2 = 835 \text{ kN}$	$F_3 = 278 \text{ kN}$

Taula 44: Forces tallants equivalents en cada zona

Ara, dividirem cada tram en 5 més amb espais equidistants de 20 cm. Llavors això ens portarà a tenir 6 possibles llocs on col·locar les peces d'unió. Cada peça haurà de suportar una força rasant igual. Per això dividirem en 6 parts per poder distribuir millor aquests esforços i evitar que llisquin el formigó i l'acer. Ho dimensionarem per el cas més desfavorable que serà el corresponent a les zones 1 i després de trobar una unió que ho compleixi, en les altre zones el que

farem és variar la distància de separació entre unions per tal de tenir el mateix tipus d'enllaç a totes les zones.

$$F_{eq} = \frac{F_1}{6} = \frac{1392 \text{ kN}}{6} = 232 \text{ kN}$$

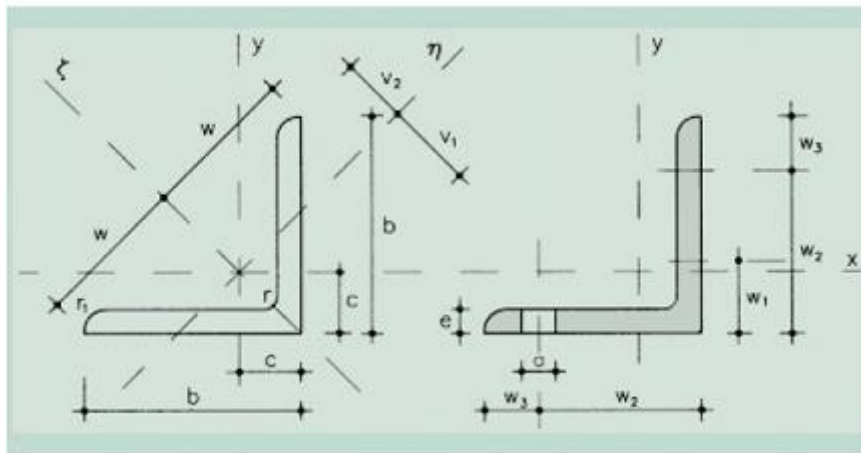
Equació - 87: Força mínima equivalent que haurà de suportar cada peça d'unió

A continuació triarem el tipus de formigó, que serà el convencional amb una resistència de 25 MPa. Considerarem un coeficient de seguretat de 1,5.

$$A = \frac{F_{eq}}{\frac{R_c}{\gamma}} = \frac{232 \cdot 10^3}{\frac{25 \cdot 10^6}{1,5}} = 13920 \text{ mm}^2 \approx 14000 \text{ mm}^2$$

Equació - 88: Àrea mínima necessària en l'element d'unió

Si utilitzéssim perfils en L laminat, el mínim que necessitaríem seria un de 60 mm degut a que si la amplada eficaç equivalent és de 250 mm. Haurem de veure si el valor és superior al de referència. Triarem el perfil L, 60, 6.



Il·lustració 66: Perfil en L. Extret de: [29]

Perfil	Dimensiones					Posición del centro				Términos de sección										Agujeros				Peso	
	b	e	f	t ₁	u	c	v ₁	v ₂	w	A	I _x	I _y	I _{xy}	W _x	W _y	i _x	i _y	i _{xy}	w ₁	w ₂	w ₃	a	p		
	mm	mm	mm	mm	mm	cm	cm	cm	cm	cm ²	cm ⁴	cm ⁴	cm ⁴	cm ³	cm ³	cm	cm	cm	mm	mm	mm	mm	kg/m		
L 40. 4	40	4	6	3,0	155	1,12	1,58	1,40	2,83	3,08	4,47	7,09	1,86	1,55	1,17	1,21	1,52	0,78	22	—	18	11	2,42	P	
L 40. 5	40	5	6	3,0	155	1,16	1,64	1,42	2,83	3,79	5,43	8,60	2,26	1,91	1,37	1,20	1,51	0,77	22	—	18	11	2,97	C	
L 40. 6	40	6	6	3,0	155	1,20	1,70	1,43	2,83	4,48	6,31	9,98	2,65	2,26	1,56	1,19	1,49	0,77	22	—	18	11	3,52	C	
L 45. 4	45	4	7	3,5	174	1,23	1,75	1,57	3,18	3,49	6,43	10,20	2,67	1,97	1,53	1,36	1,71	0,88	25	—	20	13	2,74	P	
L 45. 5	45	5	7	3,5	174	1,28	1,81	1,58	3,16	4,30	7,84	12,40	3,26	2,43	1,80	1,35	1,70	0,87	25	—	20	13	3,38	P	
L 45. 6	45	6	7	3,5	174	1,32	1,87	1,59	3,18	5,09	9,16	14,50	3,82	2,88	2,05	1,34	1,69	0,87	25	—	20	13	4,00	C	
L 50. 4	50	4	7	3,5	194	1,36	1,92	1,75	3,54	3,89	8,97	14,20	3,72	2,46	1,94	1,52	1,91	0,98	30	—	20	13	3,06	P	
L 50. 5	50	5	7	3,5	194	1,40	1,99	1,76	3,54	4,80	11,00	17,40	4,54	3,05	2,29	1,51	1,90	0,97	30	—	20	13	3,77	P	
L 50. 6	50	6	7	3,5	194	1,45	2,04	1,77	3,54	5,69	12,80	20,30	5,33	3,61	2,61	1,50	1,89	0,97	30	—	20	13	4,47	C	
L 50. 7	50	7	7	3,5	194	1,49	2,10	1,78	3,54	6,56	14,60	23,10	6,11	4,16	2,91	1,49	1,88	0,96	30	—	20	13	5,15	C	
L 50. 8	50	8	7	3,5	194	1,52	2,16	1,80	3,54	7,41	16,30	25,70	6,87	4,68	3,19	1,48	1,86	0,96	30	—	20	13	5,82	C	
L 60. 5	60	5	8	4,0	233	1,64	2,32	2,11	4,24	5,82	19,40	30,70	8,02	4,45	3,45	1,82	2,30	1,17	35	—	25	17	4,57	P	
L 60. 6	60	6	8	4,0	233	1,69	2,39	2,11	4,24	6,91	22,80	36,20	9,43	5,29	3,95	1,82	2,29	1,17	35	—	25	17	5,42	P	

Il·lustració 67: Característiques de perfil d'acer laminat en forma de L. Extret de: [29]

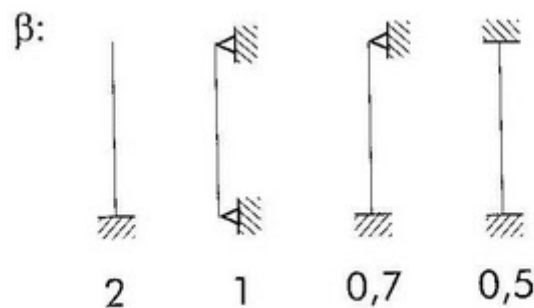
$$250 \text{ mm} \cdot 60 \text{ mm} = 15000 \text{ mm}^2 \geq 14000 \text{ mm}^2$$

Equació - 89: Comprovació
d'àrea mínima de l'element
d'unió triat

Com es superior en aquets cas, ja tindriem el nostre perfil triat i només faltaria saber les distàncies de connexions en les zones 2 i 3, i establir una distribució d'aquestes distàncies degut a que les zones van una a continuació de l'altre i evitar solapaments de perfils. Analitzarem la distribució de cada zona i al final posarem les tres en comú per a tenir un anàlisi global.

Predimensionament dels pilars:

Primer de tot haurem de veure les restriccions dels radis de gir on prèviament calcularem les longituds equivalents de vinclament que tindran els pilars en funció de les condicions d'enllaç. Haurem d'analitzar les condicions de contorn de la biga amb el pilar en les dues direccions ortogonals del pilar, el pla del pòrtic i el pla longitudinal. La barra és encastada lliure en el pla del pòrtic i encastada-encastada en el pla longitudinal. Per tant el coeficient beta en el pla del pòrtic serà de 0,7 i en el pla longitudinal 0,5 però per recomanacions de seguretat prendrem un valor de 0,65.



Il·lustració 68: Coeficient beta dependent del tipus de suports. Extret de: [12]

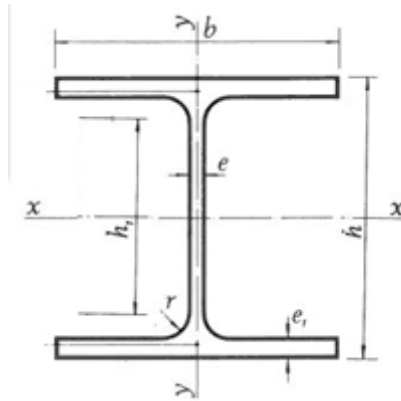
$$L_{k,x} = \beta \cdot L = 2 \cdot 6 = 12 \text{ m}$$

Equació - 90: Longitud equivalent de vinclament
pla del pòrtic

$$L_{k,y} = \beta \cdot L = 0,65 \cdot 6 = 3,9 \text{ m}$$

Equació - 91: Longitud equivalent de vinclament
pla longitudinal

Per a calcular la restricció del radi de gir, haurem de triar un tipus d'acer característics degut a que necessitarem saber el límit elàstic d'aquest. Per tant, escollirem el que té com a límit elàstic 355 MPa (acer S355). Considerarem el mòdul de Young o d'elasticitat genèric de l'acer $E=210000 \text{ MPa}$.



Il·lustració 69: Perfil HEB

$$i_x > \frac{L_{k,x}}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{12}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{355 \cdot 10^6}{210000 \cdot 10^6}} = 7,86 \text{ cm}$$

Equació - 92: Restricció de radi de gir en l'eix x

$$i_y > \frac{L_{k,y}}{2\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_y}{E}} = \frac{3,9}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{355 \cdot 10^6}{210000 \cdot 10^6}} = 2,55 \text{ cm}$$

Equació - 93: Restricció de radi de gir en l'eix y

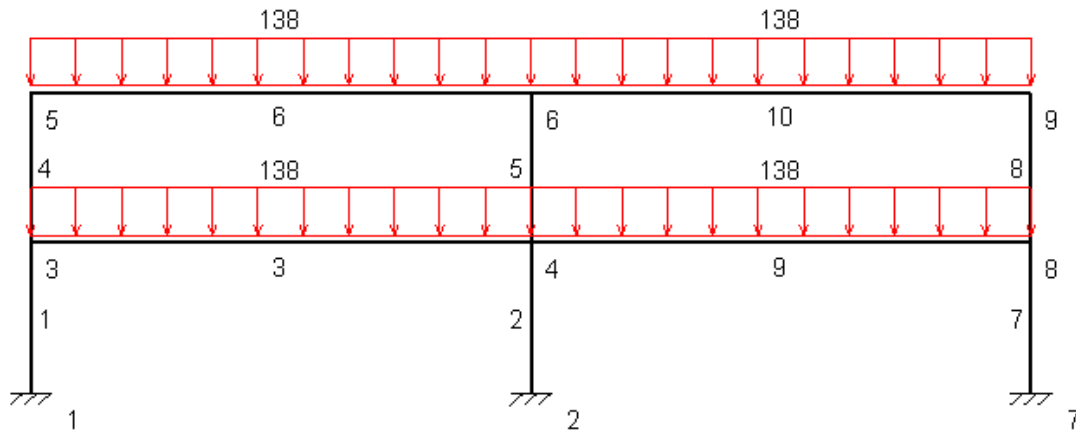
HEB	Dimensiones (mm)						Sección	Peso	Referido eje x-x			Referido eje y-y			u	HEB
	h	b	e	e1	r	h1	A(cm2)	P(Kg/m)	Ix(cm4)	Wx(cm3)	ix(cm)	Iy(cm4)	Wy(cm3)	iy(cm)	m2/m	
100	100	100	6,0	10,0	12	56	26,0	20,40	450	89,9	4,16	167	33,5	2,53	0,567	100
120	120	120	6,5	11,0	12	74	34,0	26,70	864	144	5,04	318	52,9	3,06	0,686	120
140	140	140	7,0	12,0	12	92	43,0	33,7	1510	216	5,93	550	78,5	3,58	0,805	140
160	160	160	8,0	13,0	15	104	54,3	42,6	2490	311	6,78	889	111	4,05	0,918	160
180	180	180	8,5	14,0	15	122	65,3	51,2	3830	426	7,66	1360	151	4,57	1,04	180
200	200	200	9,0	15,0	18	134	78,1	61,3	5700	570	8,54	2000	200	5,07	1,15	200
220	220	220	9,5	16,0	18	152	91	71,5	8090	736	9,43	2840	258	5,59	1,27	220
240	240	240	10,0	17,0	21	164	106	83,2	11260	938	10,3	3920	327	6,08	1,38	240
260	260	260	10,0	17,5	24	177	118	93	14920	1150	11,2	5130	395	6,58	1,50	260
280	280	280	10,5	18,0	24	196	131	103	19270	1380	12,1	6590	471	7,09	1,62	280
300	300	300	11,0	19,0	27	208	149	117	25170	1680	13,0	8560	571	7,58	1,73	300
320	320	300	11,5	20,5	27	225	161	127	30820	1930	13,8	9240	616	7,57	1,77	320
340	340	300	12,0	21,5	27	243	171	134	36660	2160	14,6	9690	646	7,53	1,81	340
360	360	300	12,5	22,5	27	261	181	142	43190	2400	15,5	10140	676	7,49	1,85	360
400	400	300	13,5	24,0	27	298	198	155	57680	2880	17,1	10820	721	7,40	1,93	400
450	450	300	14,0	26,0	27	344	218	171	79890	3550	19,1	11720	781	7,33	2,03	450
500	500	300	14,5	28,0	27	390	239	187	107200	4290	21,2	12620	842	7,27	2,12	500
550	550	300	15,0	29,0	27	438	254	199	136700	4970	23,2	13080	872	7,17	2,22	550
600	600	300	15,5	30,0	27	486	270	212	171000	5700	25,2	13530	902	7,08	2,32	600

Taula 45: Característiques perfils HEB

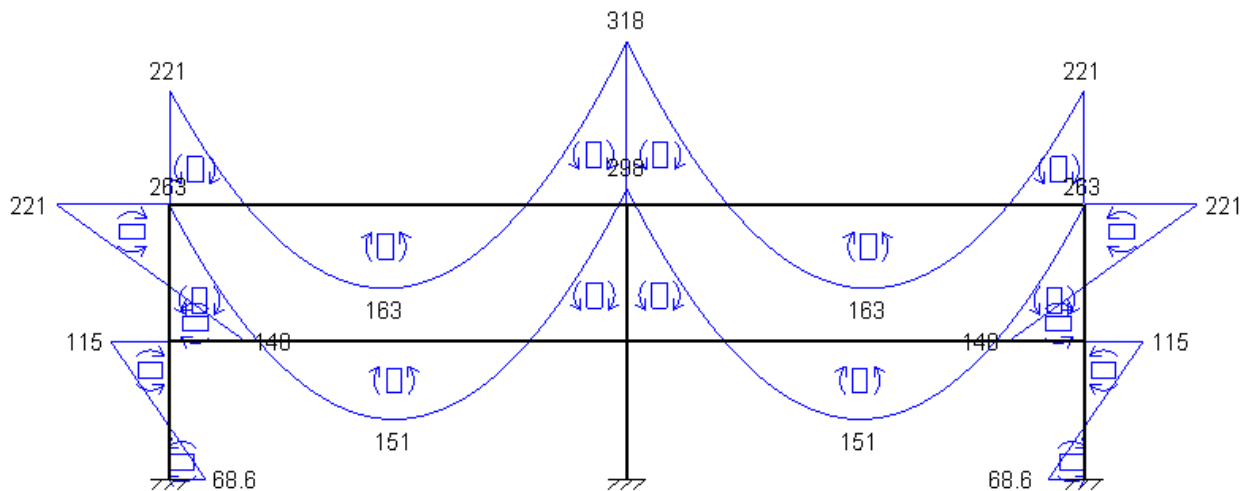
Llavors haurem de comparar els valors obtinguts amb els valors de la taula que compleixin la restricció mínima de radi de gir en les diferents direccions, en el nostre cas al voltant dels eixos x i y . El primer perfil que complirà ambdues restriccions serà el HEB 200.

Ara haurem de veure a quines sol·licitacions de càrregues estarem sotmesos per començar a veure quin perfil tindrà suficient resistència per suportar totes les accions que desestabilitzin l'estructura. Aplicarem les càrregues en combinació corresponents als estats límits últims (ELU). Amb el programa Mefi podrem veure a continuació la forma que tindrà els diagrames de moments flectors i axial degut a que el pilar estarà sotmès a flexo-compensió. Per a criteri de predimensionament, es pot utilitzar la següent hipòtesis de reduir la flexió composta a flexió simple en el cas de tenir perfils de classe 1 i 2 com serà en el nostre cas degut a que els perfils HEB es trobaran en aquesta situació concreta.

Abans de realitzar cap càlcul haurem de veure que realment si tenim qualsevol pilar de l'estructura que no sigui els dels extrems, rebrà la càrrega de dues bigues diferents i per tant haurem de veure quins són els cassos més desfavorables. Per equilibri de nusos i coneixent com seran els moments d'encastament perfecte ens podem adonar que en el cas de tenir en les dues bigues el màxim de càrrega, els flectors que generem es compensaran en els pilars degut a que tindran el mateix valor però sentit contrari en el nus considerat. Això ho podem apreciar en la següent simulació realitzada amb el Mefi i com al pilar central el diagrama de moments flectors no pren cap forma.



Il·lustració 70: Estat de càrregues per a tres pilars

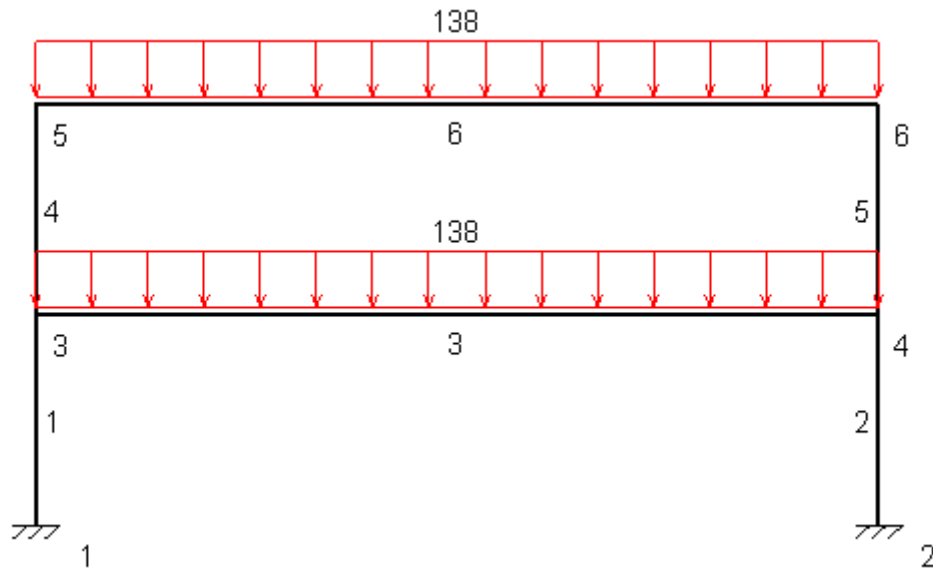


Il·lustració 71: Diagrama de moments flectors per a tres pilars

Això ens fa arribar a la conclusió de que el cas més desfavorable serà considerar la càrrega que rep un pilar extrem o considerant un estat de càrregues entre bigues alternant biga carregada i biga no carregada.

El que sí que s'haurà de considerar és que el esforç axial serà el doble que el que rebria un pilar extrem de l'estructura, aquest fet no ens afectarà en el predimensionament però sí a la comprovació del perfil candidat a pilar de l'estructura.

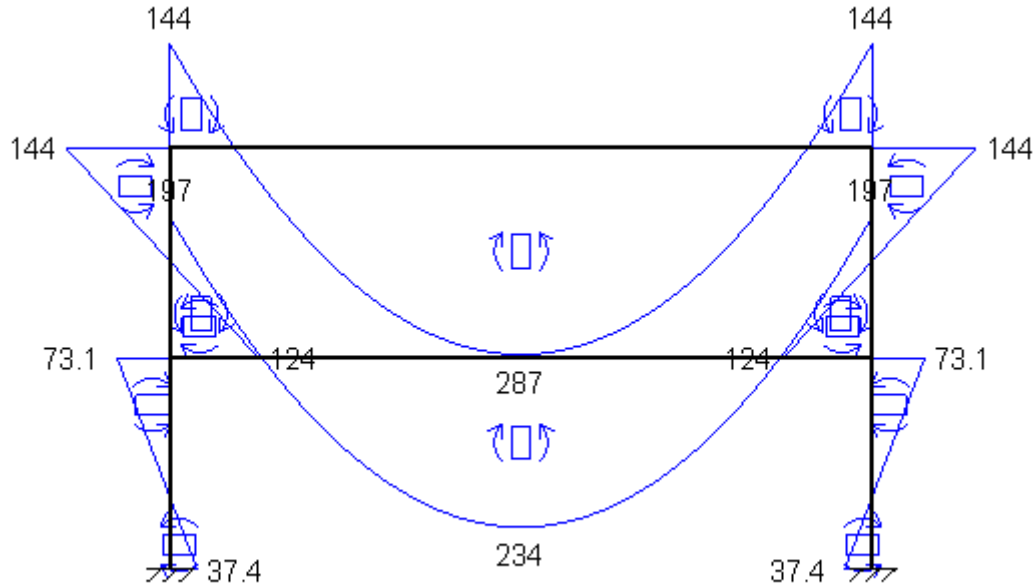
Partirem per tant de el anàlisis d'un pòrtic com el següent on tindrem dos bigues a diferents altures amb una unió rígida, es a dir, encastament entre biga i pilar.



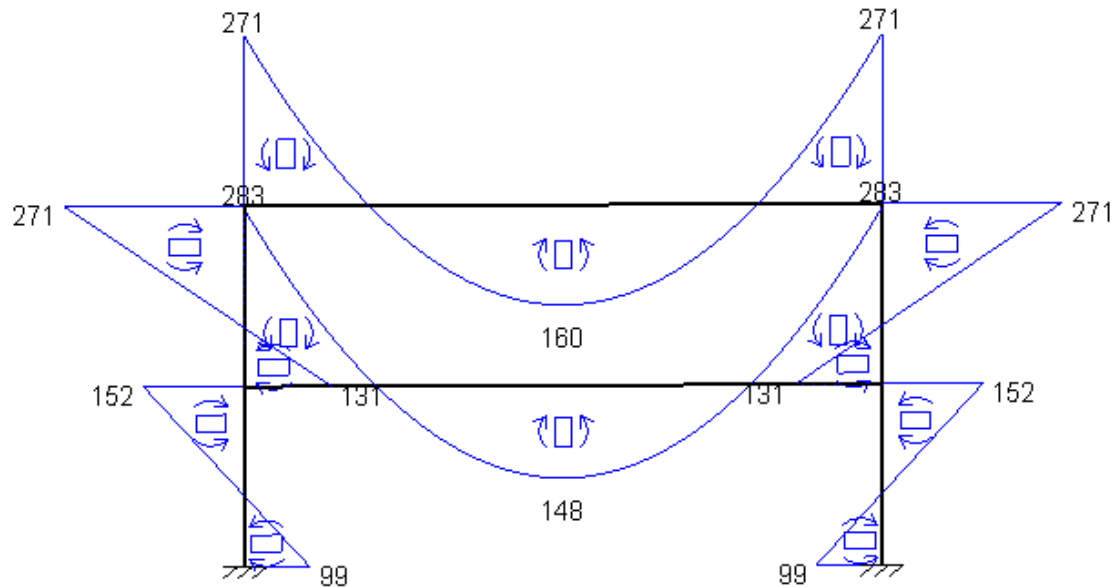
II·lustració 72: Estat de càrregues (ELU)

Per a conèixer el flector màxim en els pilars utilitzarem el Mefi que ens permetrà calcular els desplaçaments de cada nus en funció de les forces d'encastament perfecte, haurem d'entrar les dades de la inèrcia del perfil que considerem i distingir les bigues dels pilars però mantenint el mateix mòdul d'elasticitat E que serà constant per a l'acer a unes condicions tèrmiques equivalents. Per trobar el flector més gran, entrarem les dades dels perfils normalitzats límits i veurem el cas més desfavorable dels dos i a partir d'aquí dimensionarem el nostre perfil.

Perfils	Àrea (cm ²)	Inèrcia (cm ⁴)	Flector màxim en els pilars
HEB 200	78,1	5700	197
HEB 600	270	171000	283



Il·lustració 73: Diagrama de moments flectors amb pilars HEB 200

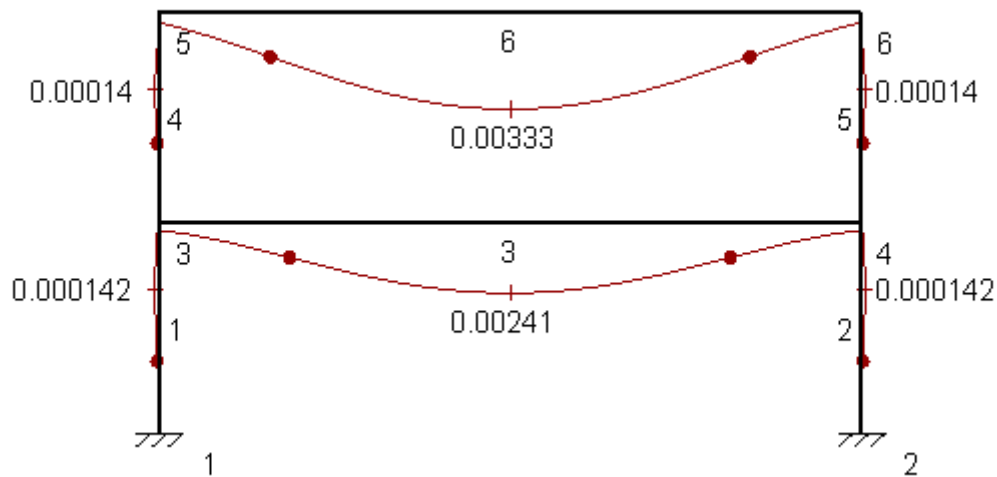


Il·lustració 74: Diagrama de moments flectors HEB 600

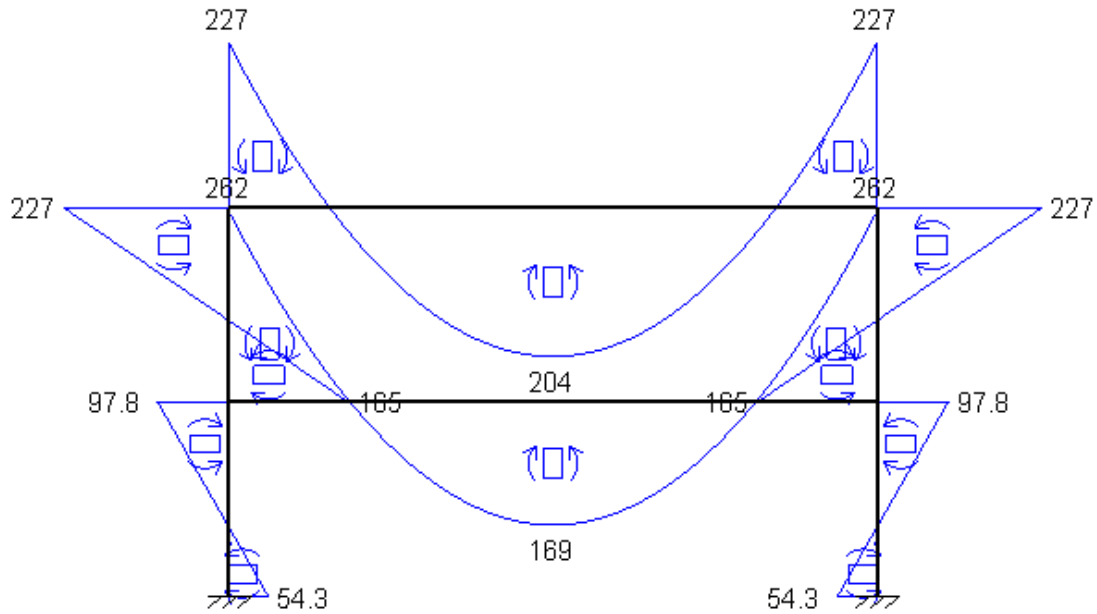
Com podem veure en les dues simulacions, si tenim un perfil més gran, els flectors seran majors en els pilars que en les bigues però en el cas contrari, seran

menors en els pilars que en les bigues. Com les bigues estan dimensionades per a un flector màxim de 431,25 kN·m, podrem tenir els pilars el més petits possibles però haurem de vigilar amb la fletxa degut a que si els triem massa petits aquesta serà major. Llavors, triarem el perfil mínim que compleixi la condició de fletxa i després farem la resta de comprovacions pertinents.

La condició de fletxa com vam veure en els estats límits de servei (es a dir amb una carrega de 100 kN uniformement distribuïda) era de com a màxim 1/300. Simulem diferents casos i el primer que compleix és el perfil HEB 300.



Il·lustració 75: Deformada amb pilars HEB 300



Il·lustració 76: Diagrama de moments flectors amb pilars HEB 300

Perfil	Àrea (cm ²)	Inèrcia (cm ⁴)	Fletxa màxima de les bigues	Flector màxim als pilars (kN·m)
HEB 300	149	25170	1/300	262

Taula 46: Perfil escollit en el predimensionament dels pilars

Per realitzar la comprovació agafarem el flector màxim de tots els pilars HEB que és de 283 kN·m que està molt per sobre dels 262 kN·m que tenim de màxim en el cas del perfil HEB 300. Si complim amb el cas més desfavorable amb aquesta perfil significarà que estarem molt de part del costat de la seguretat.

$$M_{c,Rd} = W \cdot f_{yd} = \frac{W \cdot f_y}{\gamma_M}$$

*Equació - 94: Comprovació de la
resistència a flexió del pilar*

$$W \geq \frac{M_{c,Rd} \cdot \gamma_M}{f_y} = \frac{283 \cdot 10^3 \cdot 1,05}{f_y} = \frac{283 \cdot 10^3 \cdot 1,05}{355 \cdot 10^6} \\ = 837,1 \text{ cm}^3$$

*Equació - 95: Moment resistent
mínim del pilar predimensionat*

Comprovació a resistència dels pilars:

Primer de tot hem de comprovar si es pot depreciar la influència del tallant on si es compleix la condició de $V_{ED} \leq 0,5 \cdot V_{pl,RD}$ es pot depreciar el tallant.

$$V_{pl,RD} = A_V \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}}$$

Equació - 96: Resistència a esforços tallants

En perfils H carregats paral·lelament a l'ànima, la secció sotmesa a tallant ve donada per la següent expressió.

$$A_V = A - 2 \cdot b \cdot e_1 + (e + 2 \cdot r) \cdot e_1$$

Equació - 97: Secció sotmesa a esforç tallant

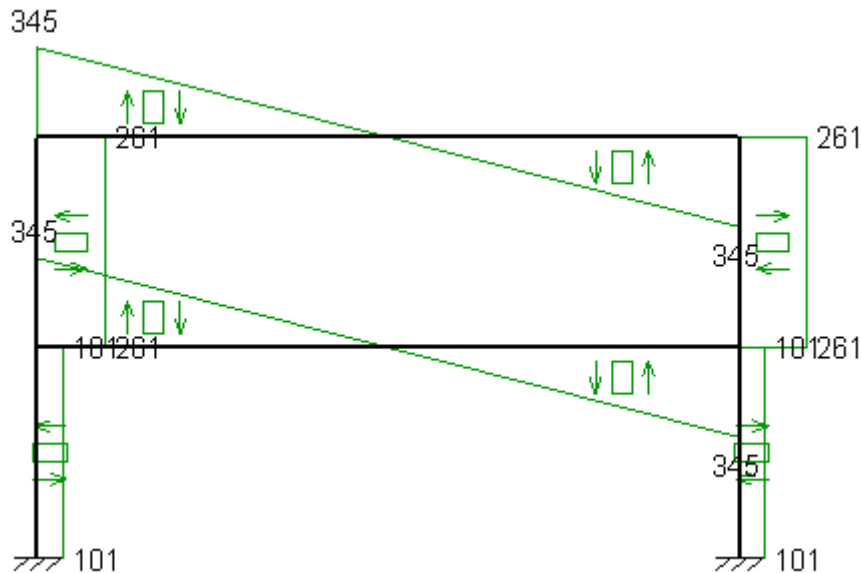
$$\begin{aligned} A_V &= 149 - (2 \cdot 30 \cdot 1,9) + (1,1 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,9 \\ &= 47,35 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Ara calcularem la resistència a tallant de la nostra secció.

$$\begin{aligned} V_{pl,RD} &= 47,35 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{355 \cdot 10^6}{\sqrt{3}} \\ &= 924 \text{ kN} \end{aligned}$$

Equació - 98: Referència a esforços tallants del pilar HEB 300 d'acer S355

Ara compararem amb el nostre tallant màxim que extraurem de la simulació amb Mefi.



Il·lustració 77: Diagrama de esforços tallants amb pilars HEB 300 (unitats en kN)

$$345 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 924 = 462 \text{ kN}$$

Equació - 99: Comprovació d'interacció entre moment flector i tallant

Per tant com podem veure, podem menysprear l'efecte del tallant en l'anàlisi de resistència del perfil i no es tindrà en consideració la interacció entre moment flector i tallant.

Ara realitzarem una comprovació a flexió composta sense tallant, on haurem de veure si l'esforç axial és suficientment significatiu. El efecte de l'esforç axial es pot menysprear en perfils doble T si no arriba a la meitat de la resistència a tracció de l'ànima d'aquest.

L'àrea de l'anima la podem calcular de la següent manera.

$$A_w = (h - 2 \cdot e_1 - 2 \cdot r) \cdot e$$

Equació - 100: Secció de l'anima del pilar HEB 300

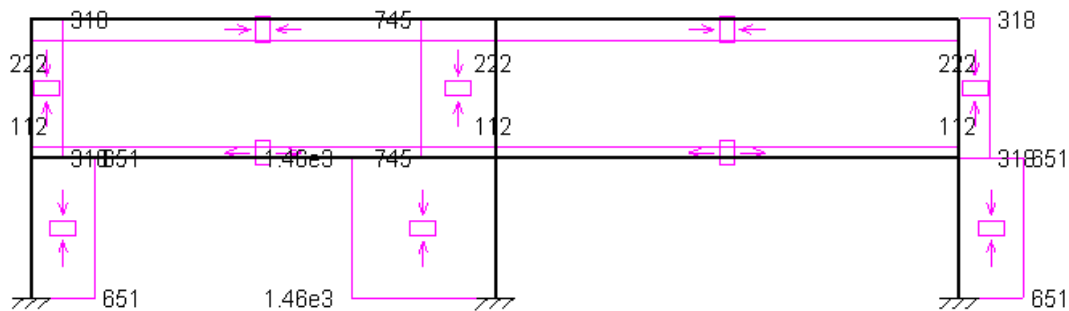
$$\begin{aligned} A_w &= (30 - 2 \cdot 1,9 - 2 \cdot 2,7) \cdot 1,1 \\ &= 22,88 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

La resistència a tracció de l'ànima en seccions de classe 1 i 2 (el cas del nostre perfil HEB 300) ve donada per la següent expressió.

$$N_{pl,w} = A_W \cdot f_{yd} = 22,88 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot \frac{355 \cdot 10^6 Pa}{1,05} = 773 kN$$

Equació - 101: Resistència a tracció de l'ànima del pilar

En el cas més desfavorable per analitzar amb el mefi serà el de tenir un pilar intermig que rebi la màxima càrrega de les seves dues bigues adjuntes. Això farà que haurem d'analitzar dos pòrtics conjunts.



Il·lustració 78: Diagrama d'esforços axials amb pilars HEB 300

El màxim esforç axial serà de 1460 kN situat a la meitat superiors dels pilars com era d'esperar degut a que tindrem les càrregues degudes a les accions verticals sobre les bigues en els pòrtics.

$$N_{Ed} \leq 0,5 \cdot N_{pl,w}$$

Equació - 102: Comprovació d'axial suficientment significatiu

$$1460 kN \leq 0,5 \cdot 773 = 386,5 kN$$

Per tant com podem veure no complirem la condició i haurem de considerar l'esforç axial. Amb la simulació del Mefi veurem quin és el nostre esforç axial

màxim en la zona dels pilars. Llavors la comprovació a resistència amb flexió composta per a perfils de classe 1 i 2 segueix la següent expressió.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rdy}} + \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,Rdz}} \leq 1 \quad \text{Equació - 103: Comprovació de la resistència del pilar a flexió composta}$$

Com el moment en direcció z és nul l'expressió es simplifica.

$$\frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,Rdy}} \leq 1 \quad \text{Equació - 104: Comprovació simplificada de la resistència del pilar a flexió composta}$$

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 149 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \frac{355 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{1,05} = 5037 \text{ kN} \quad \text{Equació - 105: Resistència del pilar a esforços axials}$$

$$M_{pl,Rdy} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 1680 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \cdot \frac{355 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{1,05} = 568 \text{ kN} \cdot \text{m} \quad \text{Equació - 106: Resistència del pilar a moments flectors}$$

Per tant quedarà la següent expressió.

$$\frac{690 \text{ kN}}{5037 \text{ kN}} + \frac{262 \text{ kN} \cdot \text{m}}{568 \text{ kN} \cdot \text{m}} = 0,599 \leq 1 \quad \text{Equació - 107: Validació final de la resistència del pilar HEB 300 d'acer S355}$$

Primer de tot hem de comprovar si es pot depreciar la influència del tallant on si es compleix la condició de $V_{ED} \leq 0,5 \cdot V_{pl,RD}$ es pot depreciar el tallant.

$$V_{pl,RD} = A_v \cdot \frac{f_y}{\sqrt{3}} \quad \text{Equació - 108: Resistència a esforços tallants}$$

En perfils H carregats paral·lelament a l'ànima, la secció sotmesa a tallant ve donada per la següent expressió.

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot e_1 + (e + 2 \cdot r) \cdot e_1$$

Equació - 109: Secció sotmesa a esforç tallant

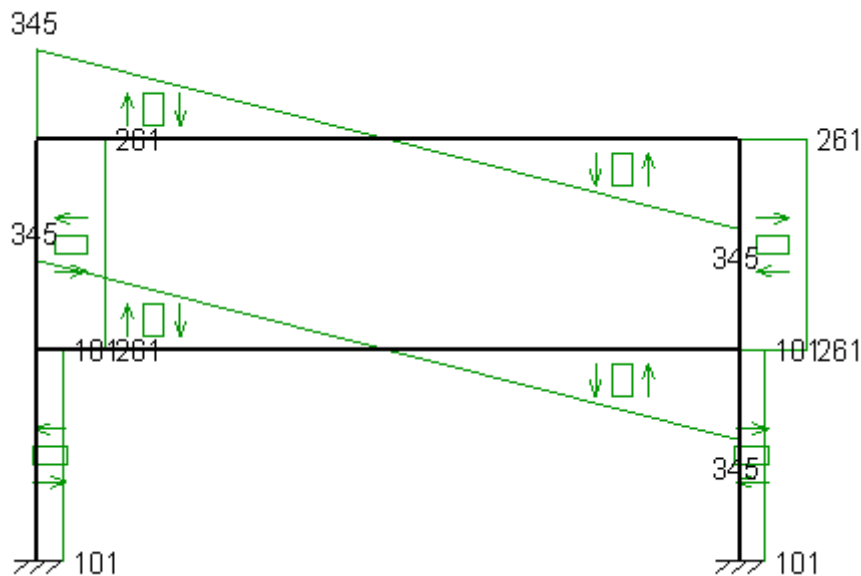
$$\begin{aligned} A_v &= 149 - (2 \cdot 30 \cdot 1,9) + (1,1 + 2 \cdot 2,7) \cdot 1,9 \\ &= 47,35 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

Ara calcularem la resistència a tallant de la nostra secció.

$$\begin{aligned} V_{pl,RD} &= 47,35 \cdot 10^{-4} \cdot \frac{355 \cdot 10^6}{\sqrt{3}} \\ &= 924 \text{ kN} \end{aligned}$$

Equació - 110: Referència a esforços tallants del pilar HEB 300 d'acer S355

Ara compararem amb el nostre tallant màxim que extraurem de la simulació amb Mefi.



Il·lustració 79: Diagrama de esforços tallants amb pilars HEB 300 (unitats en kN)

$$345 \text{ kN} \leq 0,5 \cdot 924 = 462 \text{ kN}$$

Equació - 111: Comprovació d'interacció entre moment flector i tallant

Per tant com podem veure, podrem menysprear l'efecte del tallant en l'anàlisi de resistència del perfil i no es tindrà en consideració la interacció entre moment flector i tallant.

Ara realitzarem una comprovació a flexió composta sense tallant, on haurem de veure si l'esforç axial és suficientment significatiu. El efecte de l'esforç axial es pot menysprear en perfils doble T si no arriba a la meitat de la resistència a tracció de l'ànima d'aquest.

L'àrea de l'ànima la podem calcular de la següent manera.

$$A_w = (h - 2 \cdot e_1 - 2 \cdot r) \cdot e$$

*Equació - 112: Secció de l'ànima del pilar HEB
300*

$$\begin{aligned} A_w &= (30 - 2 \cdot 1,9 - 2 \cdot 2,7) \cdot 1,1 \\ &= 22,88 \text{ cm}^2 \end{aligned}$$

La resistència a tracció de l'ànima en seccions de classe 1 i 2 (el cas del nostre perfil HEB 300) ve donada per la següent expressió.

$$\begin{aligned} N_{pl,w} &= A_w \cdot f_{yd} = 22,88 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \frac{355 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{1,05} \\ &= 773 \text{ kN} \end{aligned}$$

*Equació - 113: Resistència a tracció
de l'ànima del pilar*

En el cas més desfavorable per analitzar amb el mefi serà el de tenir un pilar intermig que rebi la màxima càrrega de les seves dues bigues adjuntes. Aixó farà que haurem d'analitzar dos pòrtics conjunts.

$$N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd} = 149 \cdot 10^{-4} m^2 \cdot \frac{355 \cdot 10^6 Pa}{1,05} \\ = 5037 kN$$

*Equació - 117: Resistència del
pilar a esforços axials*

$$M_{pl,Rdy} = W_{pl,y} \cdot f_{yd} = 1680 \cdot 10^{-6} m^3 \cdot \frac{355 \cdot 10^6 Pa}{1,05} \\ = 568 kN \cdot m$$

*Equació - 118: Resistència del
pilar a moments flectors*

Per tant quedarà la següent expressió.

$$\frac{690 kN}{5037 kN} + \frac{262 kN \cdot m}{568 kN \cdot m} = 0,599 \leq 1$$

*Equació - 119: Validació final de la resistència del
pilar HEB 300 d'acer S355*

Comprovació a vinciament dels pilars:

En aquest apartat avaluarem la nostra secció de classe 1 a una comprovació a vinciament i després a una altra de vinciament degut a torsió. Ens ajudarem de dos documents que utilitzarem com a guia per a poder realitzar de forma correcta els càlculs. Els documents seran els següents: [30] i [31] disponibles els enllaços a la bibliografia.

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot A \cdot f_{yd}} + k_y \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \text{Equació - 120: Comprovació a vinciament}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot A \cdot f_{yd}} + k_{y,LT} \cdot \frac{c_{m,y} \cdot M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot W_{pl,y} \cdot f_{yd}} \leq 1 \quad \text{Equació - 121: Comprovació a vinciament per torsió}$$

En les dues equacions, N_{Ed} i $M_{y,Ed}$ són les sol·licitacions, A i $W_{pl,y}$ són el àrea i mòdul resistent plàstic respectivament, on els seus valors varien en funció de la geometria que tingui la secció. Després tenim f_{yd} que és el valor del límit elàstic minorat del acer de la barra a comprovar. Per últim la resta de termes són coeficients que a continuació veurem el valor que prenen i com afectaran al resultat final.

Com en el nostre cas tenim pilars curts amb una esveltesa petita, no s'arriba a produir un vinciament global de la peça. En aquests casos la capacitat de la peça ve determinada per la resistència a compressió de la secció transversal, que és funció del tipus de secció. En les classes 1,2 i 3 com serà en el nostre cas (tenim un pilar HEB 300 d'acer S355 de classe 1) on no es produirà vinciament local, de aquí que la resistència de càlcul a compressió s'agafi com la resistència plàstica. Aquest fet ens farà estalviar el haver d'analitzar les expressions anteriors que requereixen del càlcul de molts coeficients, quan realment en pilars poc esvelts es pot comprovar de manera més fàcil i ràpida.

$$\text{esveltesa} = \frac{\text{altura}}{\text{longitud de la base}} = \frac{6 \text{ m}}{90 \text{ m}} = 0,067$$

*Equació - 122:
Esveltesa*

Ara en la següent equació veurem la condició de resistència que haurem de complir. On el màxim esforç axial serà de 1460 kN (valor extret del Mefi i que podem veure en la il·lustració de l'apartat anterior "Diagrama d'esforços axials amb pilars HEB 300").

$$N_{c,Rd} \leq N_{pl,Rd} = A \cdot f_{yd}$$

$$1460 \text{ kN} \leq 149 \cdot 10^{-4} \text{ m}^2 \cdot \frac{355 \cdot 10^6 \text{ Pa}}{1,05} = 5037 \text{ kN}$$

*Equació - 123: Comprovació
de resistència a compressió
del pila*

Com podem veure complirem la condició amb bastant marge i per tant l'estructura no serà susceptible al vinclament degut a la poca esveltesa que tindrà.



I declare that,

the work in this Master Thesis / Degree Thesis (*choose one*) is completely my own work,

no part of this Master Thesis / Degree Thesis (*choose one*) is taken from other people's work without giving them credit,

all references have been clearly cited,

I'm authorised to make use of the company's / research group (*choose one*) related information I'm providing in this document (*select when it applies*).

I understand that an infringement of this declaration leaves me subject to the foreseen disciplinary actions by *The Universitat Politècnica de Catalunya - BarcelonaTECH*.

Alex Socias Villanueva

Student Name

Signature

07/06/2019

Date

Title of the Thesis : Projecte de disseny
d'aparcament amb estructura metàl·lica
amb perfils classe 4 per vehicles elèctrics i
aprofitament de l'energia solar.